

LES PRATIQUES DANS LA GESTION
DES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES :
DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES &
APPLICATION À LA GESTION DES PRAIRIES
EN RÉGION HERBAGÈRE BELGE

LES PRATIQUES DANS LA GESTION
DES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES :
DÉVELOPPEMENTS MÉTHODOLOGIQUES &
APPLICATION À LA GESTION DES PRAIRIES
EN RÉGION HERBAGÈRE BELGE

Frédéric Vanwindekens

Mai 2014

Thèse présentée en vue de l'obtention du grade de docteur en sciences agronomiques et ingénierie biologique

Membres du Jury

Président	Pr. Bruno Henry de Frahan	UCLouvain
Promoteurs	Pr. Philippe Baret	UCLouvain
	Dr. Didier Stilmant	CRA-W
Lecteurs	Pr. Muriel Tichit	INRA/APT (F)
	Pr. Erik Mathijs	KULeuven
	Pr. Emmanuel Hanert	UCLouvain
	Pr. Richard Lambert	UCLouvain



UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Earth and Life Institute – Agronomy – Agroecology
Louvain-la-Neuve
Belgique

NOTRE RECHERCHE A ÉTÉ FINANCÉE PAR LE CENTRE WALLON DE RECHERCHES AGRONOMIQUES VIA LE PROJET MIMOSA DU FOND MOERMAN. ELLE A ÉTÉ MENÉE EN ÉTROITE COOPÉRATION AVEC LE PÔLE AGRONOMIE DE L'EARTH & LIFE INSTITUTE DE L'UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN.

LE FRUIT DE CETTE COOPÉRATION EST LA THÈSE DE DOCTORAT EXPOSÉE DANS CE MANUSCRIT.

CENTRE WALLON DE RECHERCHES AGRONOMIQUES

Département Agriculture & Milieu naturel

Unité Systèmes agraires, Territoire & Technologies de l'information

Libramont – Belgique

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN

Earth and Life Institute (ELI)

Agronomy – Agroecology

Louvain-la-Neuve – Belgique



*À toi, Manouk
& à nos enfants,
Titouan, Mariette, Achille*

SAURAS-TU RÉPONDRE
AUX QUESTIONS QU'ON T'AURA LAISSÉES ?

— Joe Dassin, 1974 —
Si tu viens au monde

REMERCIEMENTS

J'éprouve une profonde reconnaissance envers celles et ceux qui furent, sur des segments de chemin plus ou moins longs, mes compagnons d'aventure.

Mes chers promoteurs, Philippe Baret et Didier Stilmant. Si ma recherche a pu bénéficier de leur science, de leurs connaissances, de leur ouverture d'esprit, de leur rigueur et de leur exigence, moi, je retiens au fond de moi le cœur et l'humanité sur lesquels ils ont fondé nos relations et nos échanges, la confiance qu'ils m'ont accordée.

Les membres de mon comité d'accompagnement et du jury de ma thèse, Muriel Tichit, Erik Mathijs, Emmanuel Hanert & Richard Lambert. J'ai fortement apprécié l'esprit constructif – et pragmatique ... – qui a régné lors de la défense préliminaire. Il m'a donné l'envie – et l'occasion – d'apprendre encore jusque dans les derniers moments de ma thèse. Merci à Bruno Henry de Frahan d'avoir accepté la présidence de ce jury.

Les élèves d'Ardenne et de Famenne de mon échantillonnage 'boule de neige'. C'est sans doute assis à leurs tables, avec mon cahier de notes et mon enregistreur, que j'ai passé les meilleurs instants de ma recherche. Ma récolte est faite d'un ballot de souvenirs : accueil, passions, révoltes, sourires amusés face à certaines de mes questions, récits de vie, histoire de centaines de métiers ... et elle est bien conservée !

Marcel Mazoyer. La lecture de son Histoire des agricultures du monde, son cours et, particulièrement, le stage pour apprendre les techniques d'enquêtes ont été déterminants pour l'orientation de ma recherche doctorale.

Mes collègues à Libramont, à Louvain-la-Neuve, à Gembloux. J'ai pris un plaisir sans mélange à vous retrouver, aux petites heures en plein hiver dans le semi-direct Namur-Luxembourg ou emmitouflés sur les Brompton, à partager vos bureaux, à papoter, à échanger nos visions du monde, ... et même

à vous expliquer R. La thèse est jonchée de moments complexes pendant lesquels on a besoin de chouettes collègues. Vous m’avez beaucoup aidé, j’ai eu cette chance. Un merci particulier aux secrétaires du labo, Adeline Paulet et de la station, Carine Léonard, Dominique Gillet, Marie-Anne Lorent pour la gestion logistique aux moments où on doit tout faire en même temps. Merci à Aude Bernès pour son aide durant la phase d’enquêtes.

Les joyeux membres de ma petite cellule familiale. Cher Titouan, tu n’avais pas un an quand j’ai fait ma première enquête en ferme . . . aujourd’hui tu me dis ‘Tu as fini ta thèse!?!’ – joie, bouleversement métaphysique? – ‘Oui!’ Chère Mariette, Cher Achille, quelle joie pour moi d’avoir vu, au fil de mes années de thèse, mon foyer s’agrandir pou s’animer des vies de trois loustics! Chère Manouk, tu m’émerves! Merci pour la compréhension, le réconfort que tu m’as offerts durant ces années un peu folles. Tu es prête?

Ma famille au sens élargi! Merci pour vos soutiens. En particulier, mes parents et mes beaux parents pour la disponibilité et la joie réservées à nos enfants. Elles égayent leurs vendredis après-midi et leurs semaines de vacances. Merci spécial à ma maman, pour une lecture attentive de mon manuscrit en voie de finalisation!

Puis, *last but not least* ;-), les amies et les amis qui nous entourent. Les beaux moments qu’on prend pour se voir, discuter, partager sont les auberges, les ports et phares de notre voyage. Une table et des chaises en bois, une fête ou même juste une lumière. Les Hopystes, Ben & Gégé, Ben & Aline, Dams, Greg & So. Marguerite & François, Caro, Janou, Cécile & Thom, Yannic & Christophe et nos voisins des Hayettes. Les Mystiques, Paul.

Enfin, j’ai eu la chance de trouver sur ma route deux compagnons d’aventure d’un genre particulier qui m’ont permis, à divers moments, de retrouver au fond de moi tour à tour concentration et inspiration : le silence et la musique. Si, pour le silence, je me débrouillais bien tout seul, je m’appuyais volontiers, pour la musique, sur les épaules des génies de la polyphonie franco-flamande de la renaissance & du baroque, de Joe Dassin, des griots pinçant les cordes des koras au Mali ou des harpistes féériques pinçant celles de la harpe en Belgique¹.

1. Quand j’ai un peu de temps, je compilerai les musiques de cette période dans une liste de lecture partagée sur les services de *streaming*. Si vous êtes intéressés, allez faire une petite recherche ‘freedo thesis 2014’

RÉSUMÉ

Les systèmes socio-écologiques sont tributaires d'un environnement – économique, écologique et social – caractérisé par des évolutions permanentes et de profondes incertitudes. Pour assurer la soutenabilité de ces systèmes et la prospérité (ou la survie) des familles et des communautés qui en dépendent, les agents en charge de leur gestion fixent des objectifs, élaborent des stratégies et adoptent des pratiques à partir de variables techniques et de leurs visions du monde.

Nous inscrivant dans une démarche de recherche pragmatiste, nous avons développé une approche originale pour l'étude des pratiques des agents dans la gestion des systèmes socio-écologiques. Nous l'avons appliquée aux fermes d'élevage bovin en Ardenne et en Famenne. Notre approche combine des méthodes et des procédures de disciplines variées : ethnologie, mathématique, statistique.

L'application de l'approche méthodologique développée a mis en évidence la pertinence de modéliser semi-qualitativement les systèmes de pratiques des agriculteurs, sous la forme de réseaux d'éléments en interaction : des cartes cognitives (*fuzzy cognitive maps*). Celles-ci permettent d'ancrer les modèles dans les conceptions qu'ont les agriculteurs de leurs pratiques. Elles sont souples et rendent compte de la complexité de l'objet d'étude, intégrant des composantes économiques, écologiques, sociales. Associées à des méthodes statistiques, elles aboutissent à une caractérisation de la diversité des pratiques au niveau d'une communauté et offrent une méthode alternative pour établir une typologie des agriculteurs.

Notre recherche s'inscrit dans la perspective d'une compréhension systémique des pratiques en vue d'analyser la capacité d'adaptation des agents dans un contexte évolutif et incertain.

SOMMAIRE ²

Liste des figures	xi
Liste des tables	xiii
Communications scientifiques	xiv
Acronymes	xix

·/·

2. Une table des matières détaillée est présentée en fin de manuscrit (page 355).

Introduction générale	1
1 Les pratiques dans la gestion des systèmes socio-écologiques	3
Contexte général & Cadre d'analyse	13
2 La problématique générale	15
2.1 L'étude des pratiques paysannes	17
2.2 Les approches scientifiques qui intègrent les pratiques	24
2.3 Quelle approche pour l'étude des pratiques paysannes ?	39
3 Synthèse épistémologique & Cadre d'analyse	45
3.1 Synthèse épistémologique	47
3.2 Les deux postulats	54
3.3 Les objectifs de la recherche	54
3.4 Les trois hypothèses	55
3.5 La thèse	55
Approche méthodologique pour l'analyse des pratiques	57
4 La cartographie cognitive	59
4.1 Deux courants de la cartographie cognitive	62
4.2 En neurosciences	66
4.3 En sciences humaines	67
4.4 En sciences de l'ingénieur	70
4.5 L'étude des systèmes socio-écologiques	72
5 Mode opératoire de l'approche	79
5.1 Le cœur de la méthode	83
5.2 Développement des aspects descriptifs de la méthode	97
5.3 Développement des aspects analytiques de la méthode	99
5.4 Critères de qualité & véracité de l'approche	106

Application à la gestion des prairies	113
6 Étude de cas : la gestion des prairies	115
6.1 Présentation générale	117
6.2 Description du fonctionnement des exploitations	122
6.3 Description de la structure des exploitations	130
6.4 L'application de la méthode	134
7 Application descriptive et inductive	139
7.1 Introduction	141
7.2 CMASOP approach	146
7.3 Case study : grass forage management	150
7.4 Discussion	162
7.5 Conclusion	168
8 Application comparative et typologique	171
8.1 Introduction	173
8.2 Material and methods	176
8.3 Results	181
8.4 Discussion	194
8.5 Conclusion	197
Discussion générale & Perspectives	199
9 Discussion générale	201
9.1 Critique générale de l'approche méthodologique développée	201
9.2 Modéliser les pratiques	209
9.3 Caractériser la diversité des pratiques	216
9.4 Caractériser les capacités d'adaptation	222
10 Approches exploratoires & Perspectives	225
10.1 Synthèse des concepts de la théorie de la résilience	228
10.2 Évaluation des capacités d'adaptation des agents	233
10.3 Évaluation de la résilience des systèmes socio-écologiques	257
Conclusion générale	277
11 Conclusion générale	279

Annexes	285
A Grille d'entretien	287
B Codes thématiques	291
C Données quantitatives & Tables statistiques	293
D Formules des indicateurs de la théorie des graphes	301
E Classification des cartes sur base de leurs propriétés structurelles	305
F Application dynamique et prospective	307
F.1 Introduction	309
F.2 Materials and Methods	311
F.3 Results	316
F.4 Discussion and conclusion	317
Bibliographie	323
Glossaire	347
Index	351
Table des matières	355

LISTE DES FIGURES

1.1	Guide de lecture & Parcours de thèse	10
2.1	L'agro-écosystème selon la <i>Farming Systems Research</i>	38
4.1	Carte cognitive construite à partir d'un article de H. Kissinger .	63
4.2	Le problème de sept ponts de Königsberg (Euler, 1736)	63
4.3	Distribution des articles se référant aux approches de la carto- graphie cognitive en fonction des sujets traités	65
4.4	Évolution du nombre de publications annuelles sur la carto- graphie cognitive	68
5.1	Les quatre étapes du cœur de la méthode	83
5.2	Étapes de la méthode développée pour l'analyse comparative et la classification	100
6.1	Localisation de la zone d'étude : l'Ardenne et la Famenne	117
6.2	Représentation schématique du système d'élevage en zone her- bagère	119
7.1	The four main steps of the CMASOP approach and the objects that are used, produced or generated	147
7.2	Location of the two studied agroecological areas, Ardenne and Famenne, in Belgium	150
7.3	Assesment of diversity and saturation of information follo- wing the addition of any individual cognitive maps	153
7.4	Farmers #11's individual cognitive map	156
7.5	Simplified social cognitive map (SCM) of the 49 interviewed farmers	158

7.6	Simplified representation of the social cognitive map shown in Fig. 7.5	161
8.1	The main steps of the CMASOP approach amended for enhancing its comparative and typological applications	178
8.2	Relationships and variables revealed by the comparative analysis of groups based on agroecological area	184
8.3	Comparison of classing and clustering methods according to the results of comparative analyses	190
8.4	Relationships and variables revealed in the SCMs of clusters based on relationships (Simplified SCM of the cluster A1) . . .	192
8.5	Relationships and variables revealed in the SCMs of clusters based on relationships (Simplified SCM of the cluster A2) . . .	193
10.1	Comportements possibles des systèmes écologiques	229
10.2	Les systèmes écologiques évoluent dans un champ d'états potentiels au sein duquel les trajectoires sont multiples	230
10.3	Distribution du poids des 410 relations identifiées dans les cartes cognitives	239
10.4	Système des capacités d'adaptation des éleveurs dans la gestion des systèmes fourragers	243
10.5	Capacités d'adaptation exprimées par les éleveurs famennois en cas de sécheresse estivale	244
10.6	Fonction logistique	263
10.7	Fonction trigonométrique	263
F.1	Simplified social maps of the two groups of farmers clustered according to their systems of practice	313
F.2	Synthetic Fuzzy Cognitive Maps of the two different systems of practice assessed	314
F.3	Evolution of activations degrees of major concepts. Comparisons of two scenarios for two systems of practice	316
F.4	Evolution of activations degrees of major concepts in the four Fuzzy Cognitive Maps. Analysis of six major concepts	318

LISTE DES TABLES

3.1	Postulats des paradigmes positiviste et constructiviste	48
4.1	Travaux scientifiques ayant appliqué des approches du <i>Fuzzy Cognitive Mapping</i> au domaine agricole	76
5.1	Paramètres de base pour le calcul des coefficients de similarité binaires	103
5.2	Critères de qualité des recherches quantitatives et qualitatives .	110
7.1	Previous scientific work applying fuzzy cognitive mapping approaches to agricultural systems	145
7.2	Grassland management variables taken into account by farmers and their centralities.	152
7.3	Relationships in the individual cognitive map of farmer #11 and their meanings, based on the farmer's quotations of the farmer linked to each relationships	155
7.4	Graph theoretical indicators calculated for the 13 variables of the peripheral and core hubs	159
8.1	Relationships and variables revealed by the comparative analysis based on agroecological area	182
8.2	Relationships revealed by the comparative analysis	186
8.3	Variables revealed by the comparative analysis (geographical and technical groups)	187

8.4	Variables revealed by the comparative analysis (Clusters)	188
10.1	Caractéristiques générales des six élèves-ressources interrogés sur leurs capacités d'adaptation	235
10.2	Codes utilisés pour le codage inductif dans l'étude des capacités d'adaptation des élèves	240
10.3	Relations les plus souvent évoquées dans les systèmes de pratiques adaptatives des élèves famennois interviewés	241
C.1	Médianes de quelques variables descriptives et de fonctionnement – Structure des exploitations et surfaces	294
C.1	Médianes de quelques variables descriptives et de fonctionnement – Surfaces	295
C.1	Médianes de quelques variables descriptives et de fonctionnement – Cheptel	296
C.2	Moyennes et déviations standards de quelques variables de structure et de fonctionnement – Structure des exploitations et surfaces	297
C.2	Moyennes et déviations standards de quelques variables de structure et de fonctionnement – Surfaces	298
C.2	Moyennes et déviations standards de quelques variables de structure et de fonctionnement – Cheptel	299
F.1	Values of activations degrees of major concepts at steady states for four systems of practice	320

COMMUNICATIONS SCIENTIFIQUES

Articles originaux

Vanwindekens, F.M., Stilmant, D. & Baret, P.V. (2013). Development of a broadened cognitive mapping approach for analysing systems of practices in social-ecological systems. *Ecological Modelling* 250 : 352–362.

Vanwindekens, F.M., Baret, P.V. & Stilmant, D. (2014). A new approach for comparing and categorizing farmers' systems of practice based on cognitive mapping and graph theory indicators. *Ecological Modelling* 274 : 1–11.

Actes de colloques avec comité de lecture, communications orales ou affiches

Vanwindekens, F. M., Stilmant, D. & Baret, P.V. (2013). The Relevance of Fuzzy Cognitive Mapping Approaches for Assessing Adaptive Capacity and Resilience in Social–Ecological Systems. In Papadopoulos, H., Andreou, A. S., Iliadis, L. and Maglogiannis, I. (Eds.). *Artificial Intelligence Applications and Innovations 2013, IFIP Advances in Information and Communication Technology* 412 : 587–596. Springer, Berlin Heidelberg. 9th IFIP WG 12.5 International Conference, AIAI2013, 30 September – 02 October 2013, Paphos, CY. *Communication orale & article dans les actes de la conférence*

Vanwindekens, F., Danhieux, K., Decruyenaere, V., Grignard, A., Théwis, A. & Stilmant, D. (2012). Typology of specialized dairy farmers on the basis of their social engagement, grassland management rules and fodder stock constitution and valorisation practices. *Proceedings of the 24th General Meeting of the European Grassland Federation*, 3–7 June 2012, Lublin, PL : pp 795–797. *Affiche & article dans les actes*

Vanwindekens, F., Baret, P.V. & Stilmant, D. (2011). Diversity of drivers and motivations in grassland system : a cognitive mapping approach. Proceedings of the 10th British Grassland Society Research Conference, 20–21 September 2011, Belfast, UK. *Communication orale & article dans les actes de la conférence*

Vanwindekens, F., Stilmant, D. & Baret, P.V. (2009). Processus décisionnels des éleveurs en systèmes herbagers : étude de la diversité des pratiques lors de la première coupe. Proceedings in : Rencontres Recherches Ruminants, décembre 2009, Paris, F : p 119. *Affiche & article dans les actes de la conférence*

Communications orales ou affiches (séminaires de recherche et rencontres)

Vanwindekens, F. (2013). L'utilisation de la cartographie cognitive pour évaluer la résilience des systèmes socio-écologiques et la capacité d'adaptation des acteurs. Séminaire franco-belge de recherche sur la résilience dans les systèmes d'élevage, 11 avril 2013, Paris, F. *Communication orale*

Vanwindekens, F. (2012). (i) Modélisation des systèmes de pratiques et analyse des capacités d'adaptation des éleveurs en région herbagère belge : une approche basée sur les cartes cognitives. (ii) L'évaluation de la résilience – Méthodologie & Indicateurs. Séminaire franco-belge de recherche sur la résilience dans les systèmes d'élevage, 6 février 2012, Paris, F. *Communications orales*

Vanwindekens, F., Stilmant, D. & Baret, P.V. (2011). Identification and comprehension of practices and their drivers in socio-ecological systems : a cognitive mapping based approach. 1st Belgian argoecological Meeting, 29 september 2011, Louvain-la-Neuve, B. *Communication orale & résumé dans les actes de la rencontre*

Vanwindekens, F. (2011). Capacités d'adaptation des exploitations herbagères face aux évolutions écologiques, économiques et sociales. Séance académique d'inauguration de l'Earth and Life Institute, 8 juin 2011, Louvain-la-Neuve, B. *Affiche*

Vanwindekens, F. (2011). Capacités d'adaptation des exploitations herbagères face aux évolutions écologiques, économiques et sociales. Proceedings in : X^e Journée de Rencontre Etudiants-Chercheurs, 16 mars 2011, Louvain-la-Neuve, B. *Communication orale & résumé dans les actes de la rencontre*

Encadrements de mémoires de fin d'études & rapports scientifiques

Danhieux, K. (2010). Identification de la diversité des règles de décisions mobilisées par les éleveurs laitiers pour la constitution et la valorisation de leurs ressources fourragères. Travail de fin d'études. Gembloux-AgroBioTech.

Sneesens, I. (2010). L'autonomie alimentaire dans les systèmes d'élevage bovin herbagers du Condroz. Mémoire de fin d'études. UCLouvain.

Vanwindekens, F. (2010). Capacités d'adaptation des exploitations herbagères face aux évolutions écologiques, économiques et sociales – approche socio-technique. Rapport de l'épreuve de confirmation. UCLouvain/Centre wallon de Recherches agronomiques.

Buffet, D., Curnel, Y., Goffart, J.-P., Vanwindekens, F. & Van Den Wyngaert, L. (2009, 2010). Analyse des méthodes d'intégration des techniques de modélisation et de l'information satellitaire multi-capteurs dans les systèmes d'aide à la décision. Rapports des comités d'accompagnement I & II. Centre wallon de Recherches agronomiques.

ACRONYMES

CM	Cognitive Mapping.
CMASOP	Cognitive Mapping approach for Analyzing Systems Of Practices.
DGSIE	Direction générale Statistique et Information économique.
DSS	Decision Support System.
FCM	Fuzzy Cognitive Map.
FSR	Farming Systems Research.
ICM	Individual Cognitive Map.
INS	Institut National de la Statistique.
SCM	Social Cognitive Map.
SES	Social-Ecological Systems.
SFM	Sustainable Forest Management.
SODA	Strategic Options Development and Analysis.
SOP	System Of Practice.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

CHAPITRE 1

LES PRATIQUES DANS LA GESTION DES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES

LES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES sont des systèmes cohérents d'écosystèmes et de communautés humaines interdépendants et en interaction réciproque. Ils sont tributaires d'un environnement – économique, écologique et social – caractérisé à la fois par des évolutions permanentes et par de profondes incertitudes. En ce début de III^e millénaire, les évolutions et les incertitudes observées sont telles que la soutenabilité des systèmes socio-écologiques est mise à mal à de multiples échelles : du local au planétaire. Au-delà de cette soutenabilité, les changements globaux remettent en question la prospérité, voire la survie, de celles et ceux qui en dépendent, des individus, des familles ou des communautés.

Les systèmes agraires sont soumis, eux aussi, à un environnement évolutif et incertain. Aux commandes des fermes – unités de vie et de production composant les systèmes agraires – les agriculteurs et les agricultrices intègrent les paramètres de leur environnement, fixent des objectifs, élaborent des stratégies et adoptent des pratiques. Ce processus de construction des pratiques est dépendant non seulement des paramètres et des variables techniques de la ferme et de son environnement – prix, conditions pédo-climatiques, normes sanitaires, préférence des consommateurs mais également des conceptions qu'ont les agriculteurs de leurs fermes et de leur environnement, de leurs visions du monde.

CHAPITRE 2

- CHAPITRE 2 Les liens entre, d’une part, les déterminants liés à l’environnement et ceux liés à la personnalité et, d’autre part, le fonctionnement des exploitations agricoles ont été documentés par des disciplines scientifiques qui sont souvent restées indépendantes l’une de l’autre : sciences de l’ingénieur *via* des modèles bio-économiques et sciences humaines *via* des monographies socio-anthropologiques.
- CHAPITRE 3 Notre recherche doctorale vise à explorer une voie pour le décloisonnement des approches disciplinaires traditionnelles. Plus précisément, notre objectif général est le développement d’une méthode d’*analyse systémique* des pratiques des agents dans la gestion des *systèmes socio-écologiques* et de leur *capacité d’adaptation* dans un *contexte évolutif et incertain*. Pour l’atteindre, nous avons combiné des outils permettant une modélisation à la fois technique et ancrée dans le discours des agents, intégrant leurs visions du monde.
- CHAPITRE 5 L’approche méthodologique¹ proposée dans notre thèse s’inscrit dans une démarche pragmatiste. Elle a été développée à partir d’une combinaison de théories, de méthodes et de concepts scientifiques divers :
- CHAPITRE 2 – les concepts de système socio-écologique (Berkes *et al.*, 1998; Berkes, 2004; Folke *et al.*, 2010) et de système agraire (Mazoyer & Roudart, 2002; Cochet, 2012), d’agro-écosystème (Harper, 1974; Conway, 1987);
- CHAPITRE 2 – les méthodes inductives des sciences humaines pour la conduite d’entretiens compréhensifs, qualitatifs ou semi-dirigés (Darré *et al.*, 2004; Kaufmann, 2004);
- CHAPITRE 4 – les méthodes de modélisations de la cartographie cognitive (*fuzzy cognitive mapping*) (Kosko, 1986; Özesmi & Özesmi, 2004; Fairweather, 2010);
- CHAPITRE 10 – le concept de capacité d’adaptation, lié à la théorie de la résilience (Walker *et al.*, 2002; Holling *et al.*, 2002).

1. Notre approche méthodologique est dénommée CMASOP pour Cognitive Mapping approach for Analysing Systems Of Practice

La méthodologie développée dans le cadre de notre thèse a été appliquée à une étude de cas : la gestion des prairies dans les systèmes d'élevage bovin en Ardenne et en Famenne, deux régions agro-écologiques belges dominées par les herbages.

CHAPITRE 6

À partir de cette étude de cas, nos travaux ont abouti au développement de deux applications principales et complémentaires :

- La première application de la méthode vise à explorer et à décrire les systèmes de pratiques adoptés par les agents dans la gestion de systèmes socio-écologiques.
- La deuxième application de la méthode vise à explorer et à analyser la diversité des systèmes de pratiques au sein d'un système socio-écologique. Pour ce faire, notre méthode a été couplée à des analyses statistiques pour comparer et classer les systèmes de pratiques.

CHAPITRE 7

CHAPITRE 8

Dans un environnement évolutif soumis à des incertitudes marquées, les gestionnaires des systèmes socio-écologiques peuvent développer une capacité d'adaptation, leur adaptabilité. Cette adaptabilité est une des composantes de la résilience des systèmes socio-écologiques qui décrit la capacité de ces systèmes à absorber une perturbation et à se réorganiser de manière à maintenir toujours leurs fonctions, leur structure et leurs retroactions, et de ce fait leur identité (Folke *et al.*, 2010).

CHAPITRE 2

Afin d'explorer la pertinence d'utiliser notre approche systémique pour documenter l'adaptabilité des agents dans les systèmes socio-écologiques, nous avons initié des développements complémentaires pour l'appliquer à l'étude concrète des pratiques adaptatives des éleveurs famennois en réponse au risque de sécheresse estivale. Les résultats de cette démarche exploratoire sont présentées en temps que perspective de cette thèse.

CHAPITRE 10

ANNEXE F

Si les recherches entreprises et les techniques de modélisation utilisées dans le cadre de notre thèse n'avaient pas pour objectif une modélisation dynamique des systèmes de pratiques, elles n'en excluent pas la possibilité. Une esquisse de simulation dynamique des systèmes de pratiques pour étudier les effets de contraintes environnementales sur le fonctionnement des systèmes socio-écologiques est dès lors présentée en annexe de ce manuscrit.

Le manuscrit est divisé en quatre parties :

I La première partie présente le contexte général & le cadre d'analyse (Chapitres 2 et 3).

II La deuxième partie décrit l'approche méthodologique développée pour l'étude des pratiques (Chapitres 4 et 5).

III La troisième partie présente l'application de l'approche développée à notre étude de cas (Chapitres 6, 7 et 8).

IV La quatrième partie du manuscrit reprend la discussion générale et les perspectives de la thèse (Chapitres 9 et 10).

CHAPITRE 9

CHAPITRE 10

Plan de thèse et guide de lecture

Plan des parties et des chapitres de la thèse

La thèse se structure en un ensemble de quatre parties. Cet ensemble est précédé par l'**Introduction Générale** (chapitre 1, p. 3) et est suivi par la **Conclusion générale** (chapitre 11, p. 279).

Première partie : contexte général et cadre d'analyse La première partie du manuscrit présente le *contexte général* et le *cadre d'analyse* de notre recherche de doctorat. Elle est divisée en deux chapitres (2 et 3).

Le **deuxième chapitre** concerne le *contexte général* (p.15). Il introduit la problématique de l'étude des pratiques en agriculture et dans les systèmes socio-écologiques. Cette problématique est présentée sous la forme d'un état de l'art et conduit à la mise en évidence de certaines parcelles de connaissances à explorer et de certains défis méthodologiques à relever. Ces deux pistes ont constitué le terreau de notre recherche. Elles ont été traduites en questions de recherches autour desquelles les objectifs de la recherche ont été définis.

Ces *objectifs* et le *cadre d'analyse* sont présentés en détail dans le **troisième chapitre** de la thèse (p.45) : postulats, objectifs, hypothèses et thèse. Ce chapitre est introduit par une synthèse épistémologique sur les grands paradigmes en science et sur la position que nous adoptons dans le cadre de notre recherche.

Deuxième partie : approche méthodologique La deuxième partie du manuscrit présente en détail l'*approche méthodologique* développée pour l'analyse des systèmes de pratiques. Elle est divisée en deux chapitres (4, 5).

Le **quatrième chapitre** de la thèse constitue une revue bibliographique sur la *cartographie cognitive*, la méthodologie au cœur de l'approche développée (p.59). Cette revue vise non seulement à présenter l'histoire des développements méthodologiques de l'outil depuis le milieu du XX^e siècle. Elle vise également à faire part de la diversité des champs dans lesquelles les scientifiques lui ont trouvé des applications : neurosciences, sciences humaines,

sciences de gestion, sciences de l'ingénieur. Les cas dans lesquels la cartographie cognitive a été utilisée plus précisément pour l'étude des systèmes socio-écologiques sont détaillés.

Le **cinquième chapitre** du manuscrit expose le *mode opératoire* de la démarche (p.79) qui a été suivie et les développements méthodologiques qui ont été réalisés pour répondre aux questions de recherches. La méthode développée est une *approche basée sur la cartographie cognitive pour l'analyse des systèmes de pratiques*². Ce chapitre est structuré en trois sections : (i) la construction des cartes cognitives individuelles à partir du codage d'entretiens semi-dirigés, (ii) le développement des aspects descriptifs de la méthode pour la modélisation et la compréhension des systèmes de pratiques complexes et (iii) le développement des aspects analytiques de la méthodes pour la caractérisation de la diversité des systèmes de pratiques au sein des systèmes socio-écologiques (applications comparatives et typologiques).

Troisième partie : application de l'approche à la gestion des prairies La troisième partie du manuscrit expose l'étude de cas et les résultats de l'*application* de l'approche méthodologique développée (chapitre 5) à cette étude de cas. Elle est divisée en trois chapitres (et 6, 7, et 8).

Le **sixième chapitre** de la thèse décrit notre étude de cas et la *démarche empirique* (p.115) de récoltes de données menées auprès d'éleveurs de bovins d'Ardenne et de Famenne, deux régions herbagères de Belgique. La méthodologie a été appliquée à la gestion des prairies et des fourrages.

Le **septième chapitre** de la thèse présente l'utilisation concrète de la méthodologie pour la *modélisation* et la *description* des systèmes de pratiques (p. 139). Cette première application a pour but de représenter, de comprendre et de décrire les systèmes de pratiques dans une partie de leur *complexité*.

Le **huitième chapitre** présente l'application de la méthodologie pour la *comparaison* et la *typologie* des systèmes de pratiques (p. 171). Cette application a pour but d'étudier la *diversité* des systèmes de pratiques en utilisant les

2. Son acronyme, CMASOP, est basé sur la traduction anglaise, *a Cognitive Mapping based approach for Analysing Systems of Practices*

résultats de nos modélisations pour comparer des groupes d'agents définis a priori ou pour les classer sur base de leurs systèmes de pratiques.

Les deux derniers chapitres de cette partie correspondent chacun à un volet de l'utilisation possible de la méthode. Le cœur de ces chapitres est en anglais car ce sont deux articles publiés dans une revue à comité de lecture (Vanwindekens *et al.*, 2013, 2014). Cependant, ils sont chacun introduits et conclus par un résumé et une conclusion en français.

Quatrième partie : discussion générale & perspectives La quatrième partie de la thèse présente la discussion générale et les perspectives des travaux menés dans le cadre de notre thèse.

Dans le **onzième chapitre** (p. 201), la *discussion générale*, nous discutons des originalités, des points forts et des limites de la méthodologie développée et de son application pratique.

Dans les *perspectives* de la thèse, étudiées au **douzième chapitre** (p. 225), nous présentons les résultats préliminaires d'une *approche exploratoire* menée dans le but d'étudier les *capacités d'adaptation* des agents dans les systèmes socio-écologiques et l'impact de ces capacités d'adaptation sur la *résilience* de leurs exploitations. Dans cette section, une variante de l'approche a été développée et appliquée à l'étude des capacités d'adaptation des éleveurs famennois en réponse au risque de sécheresse estival.

Guide de lecture & parcours de thèse

La rédaction d'une thèse de doctorat répond à des processus non linéaires, de nature systémique (Feltz, 1991). Pour des raisons pratiques, le manuscrit final présente une structure linéaire et hiérarchique. Cependant, la thèse doit offrir au lecteur la possibilité de la parcourir selon ses propres logiques. À cette fin, nous proposons une carte mentale comme guide de lecture de cette thèse (figure 1.1).

Dans cette carte, les nœuds principaux représentent différents chapitres en relation les uns avec les autres. Ces relations sont orientées en fonction de

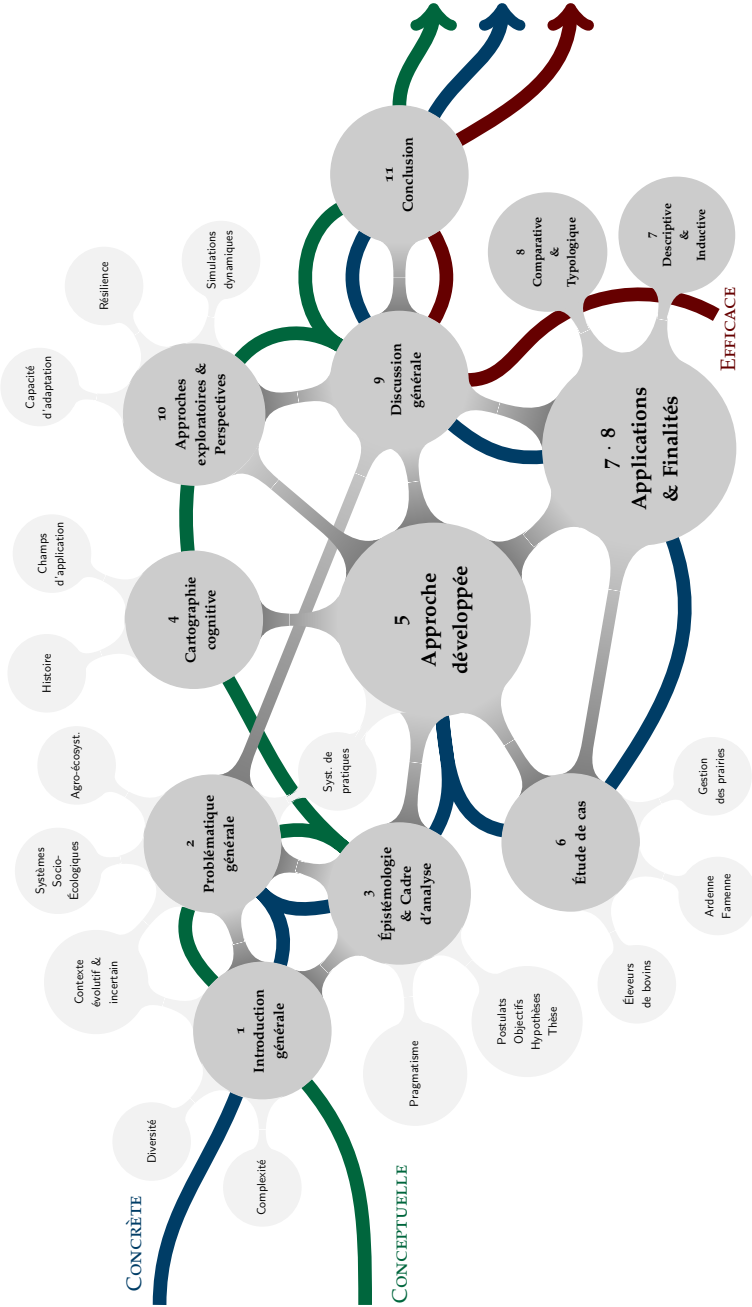


FIGURE 1.1 – Guide de lecture : chapitres et concepts fondamentaux. Nous proposons trois promenades pour parcourir notre thèse. La promenade conceptuelle invite à la découverte du contexte de la thèse et de ses concepts théoriques. La promenade concrète invite à parcourir l’approche méthodologique développée, l’étude de cas, les applications et les résultats obtenus. La promenade efficace invite à parcourir les deux publications scientifiques de cette thèse, la discussion générale et la conclusion.

l'influence des matières les unes sur les autres. Les nœuds secondaires représentent les concepts clés de notre thèse. Ils sont reliés au(x) chapitre(s) dans le(s)quel(s) nous les étudions particulièrement.

Dans le guide de lecture, nous proposons trois promenades à travers les chapitres pour parcourir la thèse. Ces trois propositions nous sont apparues naturelles mais nous ne doutons pas en l'esprit d'aventure du lecteur pour en trouver d'autres. Nous proposons une promenade *conceptuelle* pour découvrir le contexte de la thèse et les concepts théoriques qui y sont utilisés. La promenade *concrète* invite à parcourir l'approche méthodologique développée, l'étude de cas, les applications et les résultats obtenus. La promenade *efficace* s'ancre dans les deux publications scientifiques principales de cette thèse.

PREMIÈRE PARTIE

*

CONTEXTE GÉNÉRAL &
CADRE D'ANALYSE

CHAPITRE 2

LA PROBLÉMATIQUE DE L'ÉTUDE DES PRATIQUES DANS LES SYSTÈMES AGRAIRES

RÉSUMÉ

L'INTÉRÊT POUR LES PRATIQUES PAYSANNES trouve son origine au milieu du XX^e siècle, à la suite des évolutions profondes qui ont marqué l'agriculture après la deuxième révolution agricole des temps modernes. Ces évolutions s'expriment par la motorisation, la grande mécanisation et chimisation. Elles génèrent une standardisation et une spécialisation croissante des systèmes agraires et de leur exploitation. En agronomie, les recherches dans le domaine des pratiques ont pour objectifs la compréhension des systèmes agraires et le conseil aux agriculteurs. Les notions de système agraire et de système de pratiques sont introduites dans la première section de ce chapitre (section 2.1).

Les études des systèmes agraires et des pratiques peuvent se classer au sein de trois catégories d'approches : les approches techniques, les approches socio-anthropologiques et les approches systémiques (sections 2.2.1, 2.2.2 et 2.2.3).

Peu de méthodologies sont spécifiquement centrées sur l'étude des systèmes de pratiques en agriculture et aucune ne se basent sur les conceptions des agriculteurs dans le but de modéliser les systèmes de pratiques en intégrant la complexité des composantes humaines et environnementales. Dans la dernière section du chapitre, nous discutons les caractéristiques principales que requerrait une méthodologie établie spécifiquement pour l'étude des pratiques (section 2.3).

SOMMAIRE

2.1	L'étude des pratiques paysannes	17
2.1.1	Le sol, porte d'entrée pour l'étude des pratiques	18
2.1.2	Les pratiques, indicateurs de fonctionnement	20
2.1.3	Les pratiques et conceptualisation de la réalité agraire	21
2.2	Les approches scientifiques qui intègrent les pratiques	24
2.2.1	Les approches techniques	24
2.2.2	Les approches socio-anthropologiques	29
	a La démarche de J.-P. Darré	29
	b Des études se référant à la <i>grounded theory</i>	31
2.2.3	Les approches systémiques	34
	a Généralités	35
	b Des références à la psychologie	35
	c La Farming Systems Research	37
2.3	Quelle approche pour l'étude des pratiques paysannes?	39

Introduction

LE PAYSAN occupe une place centrale au sein du système agraire (Fairweather, 2010). Il établit ses stratégies en intégrant à la fois les éléments de son environnement et ses visions du monde. Dans cette perspective systémique de l'agriculture, l'étude des pratiques paysannes offre une porte d'entrée pertinente et éclairante pour l'étude des systèmes agraires dans leur globalité.

Les pratiques des agriculteurs sont caractérisées par de la complexité et de la diversité. De ce fait, elles ont fait l'objet de nombreuses études dans de multiples champs disciplinaires qui les ont abordées suivant des angles d'analyse variés.

Ce chapitre débute par la présentation du contexte historique qui a permis l'émergence des travaux pionniers sur l'étude des pratiques paysannes et des concepts théoriques qui ont été émis pour représenter la réalité agraire : système agraire, farming systeme, agro-écosystème. Dans la suite de ce chapitre, nous présentons une revue d'études des pratiques paysannes publiées dans la littérature classées au sein de trois approches majeures : les approches bio-économiques, les approches socio-anthropologiques et les approches hybrides. Nous les mettons en perspective sous l'angle de notre conceptualisation des systèmes agraires et des systèmes de pratiques en mettant en évidence les points de vue qu'elles adoptent, les disciplines qu'elles privilégient.

La dernière section du contexte discute de l'approche à développer pour l'étude spécifique des pratiques paysannes qui soit à la fois technique et basée sur les conceptions des agriculteurs. Elle ouvre la porte à la formulation des objectifs et des hypothèses du chapitre 3.

2.1 L'étude des pratiques paysannes

L'histoire de l'étude des pratiques agricoles trouve son origine dans l'évolution profonde de l'approche agronomique du milieu du XX^e siècle (Landais

et al., 1988). À cette époque, des développements techniques importants et rapides issus de la deuxième révolution industrielle ont modifié profondément l'agriculture de l'ensemble des pays développés : motorisation, grande mécanisation et chimisation (Mazoyer & Roudart, 2002, pp.494-495).

2.1.1 Le sol, porte d'entrée pour l'étude des pratiques

Dans ce contexte marqué par l'intérêt des agronomes pour les pratiques des agriculteurs, le *sol* a joué le rôle de porte d'entrée. Les travaux menés par S. Hénin aboutirent à la définition du concept opératoire de *profil cultural* (Hénin *et al.*, 1960). Ce concept a permis d'étudier d'une manière systémique l'ensemble fonctionnel constitué par (i) le peuplement végétal, (ii) le sol, (iii) le climat et (iv) les interventions de l'homme (Hénin *et al.*, 1960). La méthode que ces auteurs ont développée, appliquée et présentée est innovante à de nombreux points de vue (Landais *et al.*, 1988).

La méthode d'étude du concept de *profil cultural* ne dissocie pas le sol des plantes, ni ces éléments des actions techniques (Landais *et al.*, 1988). À ce titre, elle est à la fois originale et systémique dans une période où ces approches sont émergentes : inspiré des travaux de N. Wiener qui a introduit le concept de *cybernétique* en 1948 et de ceux de C. Shannon qui a développé la *théorie de l'information* la même année (1948), L. von Bertalanffy a développé la *théorie générale des systèmes* dans les années 1950 (Durand, 2002, pp 31-47). Deux autres éléments sont plus particulièrement liés à notre contexte de travail : l'association de mesures quantitatives et d'appréciations qualitatives que la méthode intègre et la facilité avec laquelle elle permet de réaliser des comparaisons (Landais *et al.*, 1988). Un de ses apports majeurs est, sans conteste, la mise en évidence, au travers de la multiplicité de leurs effets, de la grande *diversité des pratiques paysannes* (Hénin *et al.*, 1960). Enfin, elle initie un nouveau courant dans les rapports entre agronomes et agriculteurs.

Encadré 2.a – Définitions : Techniques, Pratiques, Systèmes de pratiques

Les techniques sont *'un ensemble ordonné d'opérations ayant une finalité de production qui peuvent être décrites indépendamment de l'agriculteur ou de l'éleveur qui les met en œuvre'* (Teissier, 1979 in Blanc-Pamard & Milleville, 1985). Elles sont constituées d'énoncés enseignables, et sont donc de l'ordre de la connaissance (Landais et al., 1988). Exemple de technique : la fauche de l'herbe pour la fenaison.

Les pratiques sont *'l'ensemble des actions agricoles mises en œuvre dans l'utilisation du milieu'* (Blanc-Pamard & Milleville, 1985). Ce sont *'les activités élémentaires, ou les manières de faire, réalisées dans une perspective de production'*, elles *'sont plus liées à l'opérateur et en particulier aux conditions dans lesquelles il exerce son métier (milieu naturel, système de production, situation familiale ...)*' (Teissier, 1979 in Blanc-Pamard & Milleville, 1985). Elles sont de l'ordre de l'action et *'s'enracinent dans un contexte particulier situé à la fois dans l'espace et dans le temps'* (Landais et al., 1988). Exemple de pratique : la fauche de l'herbe pour la fenaison, considérée dans toute sa complexité, prenant en compte les facteurs déterminant les modalités de la technique et les facteurs environnementaux : besoins des animaux, stade de l'herbe, météo du jour de la coupe, météo annoncée pour les jours de séchages, nombre de fois que le foin est retourné, travail à l'entreprise, conditionnement (balles rondes, ballots carrés), ...

Un système de pratiques est *'une combinaison particulière de pratiques, [qui est] un choix cohérent entre les possibilités d'exécution [...] de différentes tâches'* (Cristofini et al., 1978; Deffontaines & Raichon, 1981)^a. Exemple de système de pratiques de récolte de fourrage : pour assurer les besoins d'un troupeau laitier, fauche des prairies et récolte de la première coupe d'herbe avant l'épiaison si les conditions climatiques le permettent ; vu la disponibilité de la main d'œuvre en hiver et la disposition des bâtiments, conservation de la récolte sous la forme d'ensilage ; une partie de la première coupe récoltée au stade pleine épiaison pour les besoins d'une partie du troupeau : jeunes veaux.

a. Notre travail de recherche s'inspire de cette notion de systèmes de pratiques. Nous proposons une définition personnelle dans l'introduction du chapitre 5 qui présente la méthode développée.

2.1.2 Les pratiques, indicateurs de fonctionnement

Les travaux de S. Henin ont stimulé des recherches dans de multiples directions dans le courant des années soixante et septante (Landais *et al.*, 1988) : influence des pratiques sur le système climat-sol-plante, diversité des pratiques, adoption des innovations. Michel Sebillotte poursuit cette voie de recherche et centre son travail sur l'évaluation des effets des pratiques en proposant le concept d'itinéraire technique. Celui-ci désigne '*une combinaison logique et ordonnée de techniques qui permettent de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée*' (Sebillotte, 1974; Milleville, 1987). Dans les années quatre-vingt, ses travaux conduisent à proposer un cadre pour l'analyse des décisions des agriculteurs. Ce cadre est le modèle d'action qui se base sur '*le fait que l'agriculteur planifie certaines de ses actions, et ce d'autant plus facilement que les décisions à prendre présentent un caractère récurrent permettant un apprentissage et la conception de procédures de routine*' (Sebillotte & Soler, 1990). Ce modèle a été largement utilisé dans la recherche agronomique pour la construction d'outils d'aide à la décision (Coleno & Duru, 2005).

Parmi les études menées notamment en France au sein du département SAD (Sciences pour l'Action et le Développement, anciennement Systèmes Agraires et Développement) de l'INRA (Institut National [français] pour la Recherche Agronomique), celle de Cristofini *et al.* (1978) tient une place particulière, notamment, pour notre recherche. En effet, elle considère les *pratiques* comme des indicateurs privilégiés, mais non exclusif du fonctionnement des systèmes de production des agriculteurs¹ (Landais *et al.*, 1988). Ainsi, les auteurs de l'étude ont introduit le concept de *système de pratiques* qui intègre non seulement la combinaison des pratiques mises en œuvre, mais aussi les mécanismes de régulation et d'adaptation maniés pour préserver cette combinaison dans un environnement fluctuant².

À côté de l'introduction du concept de système de pratiques, une autre originalité fondamentale de l'étude de Cristofini *et al.* (1978) tient au glissement

1. '*Un système de production agricole est un mode de combinaison entre terre, forces et moyens de travail à des fins de production végétale et/ou animale, commun à un ensemble d'exploitations. Un système de production est caractérisé ici par la nature des productions, de la force de travail (qualification) et des moyens de travail mis en œuvre et par leurs proportions*' (Reboul, 1976 in Brossier, 1987)

2. Le cas d'étude présenté dans la publication est celui des situations d'élevage en Castagniccia, Haute Corse

sémantique du terme *fonctionnement* ne qualifiant plus uniquement la dynamique bio-technique de sous-systèmes opérant mais *la logique d'organisation des interventions humaines*. Elle est, de ce fait, à la base du courant des typologies de fonctionnement en France (Landais, 1998). Les *typologies de fonctionnement* se basent sur une vision systémique de l'exploitation agricole (Osty, 1978) pour les distinguer suivant des critères fonctionnels (pratiques, choix) (Landais, 1998; Perrot *et al.*, 1995). Elles s'opposent ainsi aux *typologies de structure*, distinguant les exploitations sur base de caractéristiques structurales (orientation technique et économique, taille ...).

2.1.3 Les pratiques et conceptualisation de la réalité agraire

Les pratiques agricoles s'élaborent et s'adoptent au sein même des exploitations, par les agriculteurs et les agricultrices qui en ont la gestion. Ces processus d'élaboration et d'adoption s'inscrivent toutefois dans un contexte social, plus ou moins riche en interaction entre les agriculteurs (Darré, 1996). Analysées au niveau collectif, les pratiques reflètent les rapports complexes entretenus entre une société et son environnement (Blanc-Pamard & Milleville, 1985) et influencent la réalité agraire. Cette réalité agraire a été conceptualisée par des notions ancrées dans des cultures académiques différentes : système agraire dans le monde académique français ; agroecosystems, farming systems dans le monde académique anglo-saxon.

Le concept de système agraire a été introduit dans le monde scientifique au milieu du XX^e siècle par les géographes (Cholley, 1946, in Cochet, 2012). Il a été repris par divers auteurs, et particulièrement par les agro-économistes (ex. Deffontaines & Osty, 1977, B. Vissac, 1979, les définitions sont reprises en détail par Cochet, 2011).

Le système agraire est l'objet d'étude privilégié du professeur Marcel Mazoyer (*ex-INA-PG*, Paris, F) qui s'est attelé, à partir des années 1980, à développer sa *Théorie de l'évolution historique et de la différenciation géographique des systèmes agraires*. À cette fin, il redéfinit le concept de système agraire en

lui donnant une dimension dynamique et englobante (Mazoyer & Roudart, 2002, p. 70).

(...) chaque système agraire est l'expression théorique d'un type d'agriculture historiquement constitué et géographiquement localisé, composé d'un écosystème cultivé caractéristique et d'un système social productif défini, celui-ci permettant d'exploiter durablement la fertilité de l'écosystème cultivé correspondant.

Le concept de système agraire est communément utilisé par les agronomes, les agro-économistes et les géographes francophones dans le cadre général des études paysannes. Il est complexe dans le sens où il implique (i) différentes échelles d'analyse (locale, régionale) et (ii) différentes sphères (techniques, sociales) (Cochet, 2012), sans qu'une composante ne domine nettement une autre. La difficulté tient surtout au fait que ce concept intègre l'analyse conjointe des transformations des techniques agricoles et les modifications des rapports sociaux aux niveaux local, national et même global (Dufumier, 2007). C'est à ce titre qu'il se distingue nettement des notions utilisées dans le monde anglo-saxon pour étudier les systèmes agraires.

Dans le monde anglo-saxon, différents concepts ont été proposés par les agronomes pour rendre compte de la complexité de leurs objets d'étude. Nous présentons trois courants issus de traditions scientifiques différentes, intégrant des méthodes spécifiques et des points de vue particuliers : l'écologie (*agro-ecosystems*), l'agronomie (*farming systems*) et la sociologie (*peasants studies, rural studies*).

Le concept d'*agro-ecosystem*, concaténation du terme plus formel d'*agricultural ecosystem*, a été introduit dans littérature scientifique dans le courant des années 70 dans le premier article d'une nouvelle revue dénommée à l'époque *Agro-Ecosystems* (Harper, 1974)³. Il spécifie le concept d'écosystème, système complexe fondé d'éléments biotiques et abiotiques, pour rendre compte de la particularité des milieux cultivés et, donc, fortement anthropisés par rapport

3. Pour information, la revue *Agro-Ecosystems* a été renommée en 1983 *Agriculture, Ecosystems and Environment*

aux écosystèmes naturels. Par rapport aux écosystèmes naturels, les agro-écosystèmes se distinguent par (Okey, 1996) :

- des flux plus importants, notamment en ce qui concerne (i) l'importation des éléments dont ils dépendent (énergie, nutriments, savoir-faire, travail) et (ii) l'exportation du fruit des récoltes hors du système ;
- leur caractère non auto-suffisant, ils sont maintenus artificiellement dans un état non naturel (Conway, 1987) ;
- une diminution de la bio-diversité, dans les agro-écosystèmes conventionnels.

De plus, les agro-écosystèmes sont soumis à la gestion humaine, elle-même influencée par les aspects économiques et financiers (Loucks, 1977) de leur environnement mais aussi par les aspects sociaux et politiques et par les préférences des agriculteurs eux-mêmes.

Une définition assez générale de l'agro-écosystème est donnée par Marten (1988) :

*un complexe d'air, d'eau, de sol, de plantes, d'animaux, de micro-organismes et tout autre élément d'un espace délimité et modifié à des fins de production agricole. Il peut être de toutes les tailles : un simple champ, une ferme, un paysage, un village, une région ou une nation.*⁴

Comme l'indique cette définition, l'agro-écosystème n'est pas caractérisé par une échelle particulière (Okey, 1996) : certains auteurs la limite aux systèmes de production (la ferme et sa gestion, Altieri, 1989) ; d'autres intègrent les relations (sociales, échanges, flux) entre les fermes (comme c'est le cas dans le concept de système agraire) ; enfin, dans son sens le plus large l'agro-écosystème intègre l'ensemble de la filière (transport, transformation, consommation, communautés rurales). Le concept d'agro-écosystème est donc également multidimensionnel, intégrant des aspects biophysiques, socio-économiques et des communautés humaines (Okey, 1996).

4. *An agroecosystem is a complex of air, water, soil, plants, animals, micro-organisms, and everything else in a bounded area that people have modified for the purposes of agricultural production. An agroecosystem can be of any specified size. It can be a single field, it can be a household farm, or it can be the agricultural landscape of a village, region, or nation.* (Marten, 1988)

Le concept de *farming systems* a été développé au sein de la famille des approches issues de la Farming Systems Research (FSR). Ces approches reconnaissent la complexité de l'agriculture et de son contexte, tout à la fois écologique, économique et social. Cela justifie l'intérêt des approches multidisciplinaires pour son étude. Par contre, elles sont spécifiquement centrées sur la résolution de problèmes techniques rencontrés à l'échelle des exploitations agricoles prises de manière individuelle. Elles n'apportent que peu d'importance aux processus qui ont cours sur le long-terme, aux relations sociales, à l'accès aux ressources. Dans ce cadre-là, les *farming systems* sont considérés comme une activité humaine et correspondent, *grosso modo*, aux systèmes de production en temps que composantes des systèmes agraires. Ces approches font l'objet d'une présentation détaillée à la section 2.2.3.

Notons que les approches qui relèvent des *peasants studies* se concentrent, quant à elles, sur les aspects délaissés par les approches de la FSR : dynamiques sociales, histoire, contexte économique et politique, relations entre fermiers et société. À l'inverse, elles utilisent rarement le terme *système* car les aspects techniques sont rarement au cœur de leur analyse.

De manière plus spécifique, les pratiques paysannes ont été étudiées par trois grandes classes d'approches. Celles-ci sont présentées dans les trois sections suivantes : les approches techniques, les approches socio-anthropologiques et les approches systémiques.

2.2 Les approches scientifiques qui intègrent les pratiques

2.2.1 Les approches techniques, la modélisation pour l'aide à la décision

L'intérêt porté par la société pour comprendre les dynamiques et le comportement des systèmes agraires trouve son origine dans la nécessité, dans un premier temps, d'évaluer et de prédire la production et l'approvisionnement

des bien alimentaires et, plus tard seulement, d'évaluer l'impact des systèmes de productions et des services éco-systémiques qu'ils fournissent sur le milieu et le bien-être social. Les scientifiques se sont donc attelés à développer des modèles des systèmes agraires réduits à l'une (la production) ou l'autre (l'écologie) des composantes (Dent *et al.*, 1995). Avec le développement de l'informatique et des connaissances, les modèles *bio-économiques*⁵ ont été mis au point avec pour but principal d'évaluer l'impact d'un changement de politique ou de l'intégration d'innovation technologique (Janssen & van Ittersum, 2007) sur les performances des systèmes agraires. Ces développements s'inscrivent plutôt dans les approches hypothético-déductives (section 3.1.1).

Selon la définition qu'en font Janssen & van Ittersum (2007), un modèle bio-économique de ferme lie une représentation du système de décisions⁶ du fermier pour la gestion de ses ressources et une représentation des options de production actuelles ou alternatives, permettant, à partir des ressources disponibles, d'atteindre certains objectifs, à la fois en terme de rendement et d'empreinte écologique⁷.

Ces approches considèrent les pratiques d'un agriculteur comme le reflet de ses intentions (objectifs) et de ses contraintes, qu'elles ont des déterminants (Aubry *et al.*, 1998) et qu'elles impliquent des processus décisionnels sous-jacents (Papy, 1994). Vu la récurrence de certaines techniques mises en œuvres, les pratiques sont planifiables par les agriculteurs et prédictibles par les agronomes (Aubry *et al.*, 1998).

La plupart des travaux de compréhension et de modélisation des règles de décision en agriculture réalisés par les équipes de recherche françaises représentent les pratiques des agriculteurs suivant le concept de *Modèle d'action*. Cette démarche a été initiée par Duru *et al.* (1988). La mise en pratique de ce modèle implique la définition :

- des *objectifs* généraux qui guident l'agriculteur,
- du *plan* prévisionnel des opérations telles qu'elles devraient se dérouler idéalement,

5. appelé en anglais *bio-economic* ou encore *ecologic-economics*

6. décrit au sein d'un corps de règles de relations, en anglais *formulation*

7. Il est à noter que cette définition pourrait très facilement s'appliquer de manière plus globale à la gestion des systèmes socio-écologiques en général, l'ouvrant au domaine de la gestion des pêcheries, des forêts, des réserves naturelles.

– d’une série de *règles de décision* et d’*indicateurs* qui permettent l’exécution du plan et/ou son adaptation.

La plupart des modèles bio-économiques utilisent des techniques mathématiques et des modèles d’optimisation basés, pour la majorité d’entre eux, sur la programmation linéaire (Janssen & van Ittersum, 2007). Celle-ci consiste à représenter la ferme en une combinaison linéaire d’*activités* qui sont des séries d’opérations cohérentes possédant leurs propres *inputs* et *outputs* (ten Berge *et al.*, 2000). La limitation des ressources génère des contraintes au système qui est ensuite optimisé en fonction de l’objectif, le but de l’utilisateur du modèle via une *fonction objectif*, ou *fonction d’utilité* (Janssen & van Ittersum, 2007).

Cette *utilité* est un terme largement employé par la théorie économique traditionnelle. Celle-ci postule que les gens prennent leur décision en espérant une évolution de leur bien-être, l’utilité (Edwards-Jones, 2006). Elle a comme hypothèse que les gens cherchent à maximiser cette utilité. Bien que ce soit un concept pertinent en théorie, il est difficilement applicable à la réalité dans le sens que l’utilité d’un objet, d’un état, d’une action varie dans de multiples dimensions : dans le temps, pour un même individu, mais aussi dans l’espace, entre les individus (Edwards-Jones, 2006). Dans ce contexte, les économistes ont proposé que, par l’intermédiaire de l’argent, le profit servirait de *proxy* à la mesure de l’utilité. Appliquée aux modèles agricoles, cette vision a conduit à la considération du fermier, dans de nombreuses études et durant de nombreuses années, comme un *agent rationnel maximisateur de profit* (Norton & Schiffer, 1980, Moxly *et al.*, 1995, Wallace & Moss, 2002 in Edwards-Jones, 2006).

Il apparaît cependant, avec les années et l’évaluation des modèles et des travaux, que, si l’hypothèse de maximisation du profit est apte à s’appliquer dans certaines mesures à l’explication des décisions qui concernent les transactions financières à large échelle, elle l’est beaucoup moins dans des situations où, comme en agriculture, les aspects financiers ne sont qu’une partie du système (Edwards-Jones, 2006), constitué en outre, d’éléments traditionnels, humains, familiaux, sociaux.

La prise en compte des aspects non-financiers – sociaux et culturels – est essentielle pour l’étude des pratiques traditionnelles dans les systèmes agraires

asiatiques, africains ou latino-américains, mais également pour l'étude des pratiques en général dans chaque système agraire. En Europe par exemple, les politiques publiques accordent une plus grande prépondérance aux aspects non-financiers (Edwards-Jones, 2006) :

- environnementaux, avec les mesures agri-environnementales, la valorisation des services écosystémiques, la prévention des pollutions, la gestion intégrée de l'eau⁸,
- éthiques, avec l'importance accordée au bien-être animal, à la soutenabilité des agro-écosystèmes, et
- humains et sociaux, avec les notions d'intégration, de considération, les services de vulgarisation, de formation, le soutien aux associations, à l'accès et aux aspects récréatifs des espaces ruraux . . .

Dans ce contexte, il semble évident que la prise en considération d'aspects à la fois socio-culturels et psychologiques dans une démarche de compréhension des systèmes de pratiques et de représentation des systèmes socio-écologiques est essentielle à côté des aspects écologiques et économiques.

Les travaux scientifiques relatifs aux approches bio-économiques ont recours à deux formes de réductions (Dent *et al.*, 1995) : (i) d'une part une focalisation quasi exclusive sur les aspects techniques des sphères économiques et écologiques, impliquant donc un délaissement quasi complet des aspects sociaux et (ii) d'autre part la simplification à outrance des objectifs recherchés par les agriculteurs aux seuls aspects financiers. Cette tendance peut s'expliquer par deux éléments (Dent *et al.*, 1995) : (i) le réductionnisme de la démarche scientifique cartésienne au niveau de l'expérimentation et de l'analyse, notamment en agriculture, et (ii) la difficulté importante de la prise en considération des aspects sociaux dans les modèles. Fait découlant de ces deux simplifications, les modèles bio-économiques se cantonnent principalement à la prise en compte d'éléments rationnels liés par des relations mesurables et quantifiables.

Ascough *et al.* (2008) analysent la prise de décision dans les systèmes écologiques et environnementaux. La difficulté pour les approches scientifiques de modéliser ces systèmes dans leur ensemble, et donc d'intégrer les aspects

8. *Nota bene* – Bien que l'objectif de ces mesures ne soit pas financier, leur application pratique implique tout de même une forme de monétarisation : primes, taxes, . . .

humains, est liée à la *complexité* de ces systèmes et à l'*incertitude* qui les caractérise. Ils déclinent la complexité de la conservation et de la gestion des systèmes biologiques en divers points :

1. Beaucoup de systèmes sont si complexes et imprévisibles qu'ils ne sont pas compris et que même les incertitudes qui sont associées à leurs composantes ne sont pas estimables.
2. Les questions de gestion de l'environnement ainsi que leurs réponses sont subjectives et sujettes à des valeurs et à des visions du monde.
3. Les options possibles sont nombreuses et les conséquences environnementales peuvent être profondes (effondrement de populations, ...).

Enfin, les modèles bio-économiques et des systèmes d'aide à la décision sont marqués, sur le terrain, par un très faible intérêt de la part des agriculteurs (Dent *et al.*, 1995; McCown, 2002b; Edwards-Jones, 2006). McCown (2002b) l'explique pour partie par l'écart qui existe entre d'une part l'approche que les scientifiques ont des pratiques des agriculteurs et la recherche qu'ils font des *best practices* et, d'autre part, la réalité des pratiques des agriculteurs, de leurs actions issues de processus internes complexes.

Nous ne présentons pas dans ce manuscrit les méthodes utilisées par les approches de modélisation de type *bio-économique* car nous ne les avons pas utilisées dans notre recherche. Pour les lecteurs intéressés, nous renvoyons à la revue sur les modèles bio-économiques de Janssen & van Ittersum (2007) ou celle sur la modélisation en élevage de Gouttenoire *et al.* (2011).

Les aspects sociaux et humains des pratiques paysannes sont donc complexes à prendre en considération par les approches techno-centrées qui les ont dès lors naturellement délaissées. Ils sont, par contre, l'objet d'étude des sciences humaines et ont donc été largement traités par les approches socio-anthropologiques.

2.2.2 Les approches socio-anthropologiques, la prise en compte des conceptions des agents

Le courant dominant présenté à la section précédente s'appuie sur les théories micro-économique et de la gestion (Sebillotte & Soler, 1990; Papy, 1994). Les études de ce courant considèrent l'agriculteur comme un chef d'entreprise, un décideur, et considèrent les projets de l'agriculteur et la situation matérielle de son exploitation comme les déterminants de ses pratiques (Darré *et al.*, 2004, p.11). À côté de ce courant, une voie alternative a été développée par des chercheurs inscrits dans le champ disciplinaire des sciences sociales, empruntant une démarche socio-anthropologique et l'appliquant aux études rurales. Cette voie suit les approches holistico-inductives (section 3.1.2).

Dans les approches socio-anthropologiques, une place importante est réservée aux conceptions, aux façons de penser des agriculteurs afin d'explicitier et de justifier leurs pratiques. Les chercheurs visent donc à comprendre 'les raisons des pratiques dans les raisons qu'elles ont pour [les agriculteurs]' (Darré *et al.*, 2004, p.11).

Les études socio-anthropologiques sur les pratiques des agriculteurs se réfèrent principalement à la démarche de J.-P. Darré ou à la *grounded theory*. Ces deux courants sont détaillés dans les sections suivantes.

a La démarche de J.-P. Darré

La démarche de J.-P. Darré fait référence explicitement à la sociologie compréhensive développée dans les années 1930 par Max Weber. Selon Weber, '*la seule explication des actes d'un sujet réside dans le sens que ces actes ont pour lui*' (Darré *et al.*, 2004). Elle a été développée par Jean-Pierre Darré et présentée dans sa thèse (1983 in Boisseau, 1998) et dans son étude de cas sur les agriculteurs du Ternois (Darré, 1985). Elle a ensuite été adoptée par une dizaine de chercheurs du département SAD de l'INRA entre 1995 et 1999⁹.

9. Les travaux de ces chercheurs font l'objet de l'ouvrage 'Le sens des pratiques. Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes' (Darré *et al.*, 2004).

La démarche scientifique développée par J.-P. Darré s'inscrit dans la branche de la sociologie désignée socio-anthropologie, socio-ethnologie, parfois appelée micro-sociologie¹⁰. Leurs '*objets sociaux sont les milieux d'interaction, d'interconnaissance et les phénomènes qu'on peut y observer*'. Leur objectif est '*de définir, de comprendre – d'analyser – les phénomènes de la vie sociale*'. Cette branche de la sociologie est une *science de terrain* favorisant '*les études de cas, l'observation, la comparaison de situations dont les acteurs sont visibles, dénombrables, situables les uns par rapport aux autres et par leur activité, constituant, dès lors, des formes sociales reconnaissables pour eux-mêmes comme pour l'observateur*' (Darré *et al.*, 2004, p.36).

Pour l'étude des *pratiques*, des outils fondamentaux mis à la disposition des chercheurs (agronomes, zootechniciens, ...) sont (i) les notions de formes de connaissance et de confrontation entre les formes de connaissances d'agriculteurs et de chercheurs et (ii) les méthodes d'analyse de la parole (Darré *et al.*, 2004, p.36).

Différentes études rurales en anthropologie se réfèrent à la démarche de Darré *et al.* (2004). Deux exemples d'études sont présentés succinctement dans l'encadré 2.b.

Les résultats permettent de mettre en évidence l'influence du facteur humain et des dynamiques sociales sur la gestion des exploitations, influence que beaucoup d'études extensives auraient ignorée. Un facteur limitant à une démarche scientifique de ce type est le temps important de collecte et d'analyser des données qualitatives. Ce temps se traduit souvent par une étude empirique sur une micro-échelle (un village, une petite communauté, quelques fermes). Celle-ci est tout à fait justifiée dans ce type d'étude et permet d'analyser des objets qui font une unité de sens. Cependant, les résultats des études sur des micro-échelles posent la question de leur généralisation (Mathieu, 2004). De cette généralisation va évidemment dépendre leur prise en compte par les agronomes et leur intégration dans des outils de conseils.

10. *Nota bene* – Cette branche s'oppose à la sociologie 'histoire du présent' qui vise à décrire les états des sociétés, les changements, les évolutions, les tendances ou les aspects sociaux de certains phénomènes (maladie, santé, éducation, *etc.*) dont les objets sociaux sont des catégories, des classes sociales, des professions, ...

Encadré 2.b – Deux études se référant à la micro-sociologie

Mathieu (2004) a, par exemple, utilisé cette méthode auprès d'une échantillon de cinq agriculteurs jurassiens dans le but d'étudier la gestion du pâturage des vaches laitières. Elle met en évidence des conceptions différentes des notions d'espace et de temps entre les agriculteurs et les agronomes. Les agriculteurs conçoivent la croissance de l'herbe à un moment donné sur différentes surfaces conjointement quand les agronomes considèrent les parcelles séparément et conçoivent une évolution de l'herbe dans un espace donné sur l'ensemble de la saison.

Lasseur (2005) s'est basé sur la même méthode dans le but, quant à lui, d'étudier les conceptions des éleveurs ovins sur la gestion d'espace naturel (le Parc Naturel Régional du Lubéron). Vingt-trois éleveurs ont été classés pour établir une typologie utilisée pour décrire et analyser les transformations des pratiques. Il montre que ces transformations sont fortement liées à l'habilité des éleveurs à intégrer des changements dans de nouveaux systèmes de production.

Les analyses de Darré (p.ex. 1996) accordent une place prépondérante aux savoirs populaires, aux savoirs de agriculteurs, considérés comme trop souvent ignorés dans les processus de développement (de Sardan, 2001). Poussées à l'extrême, de telles approches peuvent conduire à une vision enchantée des savoirs populaires (Chambers & Ghildyal, 1985). Elles sont vivement critiquées et qualifiées par de Sardan (2001) de populistes. La critique porte essentiellement sur l'opposition qui est faite entre les deux mondes des agriculteurs et des développeurs. L'auteur propose une approche centrée sur l'imbrication des logiques sociales pour étudier les relations entre les deux univers (de Sardan, 2001).

b Des études se référant à la *grounded theory*

La *grounded theory*¹¹, développée par Glaser & Strauss (1967), est une méthodologie qualitative commune en science sociale. Elle a été utilisée dans différents contextes (éducation, santé publique) ainsi que par les sociologues ruraux pour l'étude des pratiques au sein des systèmes agraires.

11. Terme traduit en français par *théorie ancrée*, parfois *théorie enracinée*, mais très souvent utilisé en anglais dans les textes en français. C'est ce que nous avons fait aussi dans cette thèse.

Une *grounded theory*, empirique, induite par les données récoltées plutôt que les précédant, est définie en anglais par ses deux concepteurs comme une théorie qui ¹² :

... fit the situation being researched and work when put into use. By fit we mean that the categories must be readily (not forcibly) applicable to and indicated by the data under study; by work we mean that they must be meaningfully relevant and be able to explain the behaviour under study

Elle possède des points communs avec l'approche micro-sociologique présentée à la section précédente dans le sens où la *grounded theory* est inscrite dans le courant de l'interactionnisme symbolique, où le chercheur vise à identifier la signification symbolique que les actes, les mots, les objets ont pour les gens lors de leur interaction les uns avec les autres (Cutcliffe, 2000). Selon cette vision, les individus, construisant leur réalité à partir des symboles qui les entourent et des interactions qui les relient, participent activement à la création de signification des situations (Morse & Field, 1995 in Cutcliffe, 2000).

Une *grounded theory* décrit et explique le système ou le comportement à l'étude. La méthodologie qu'elle brasse a pour but de développer une théorie qui est ancrée dans les données (*data driven*), collectées et analysées de manière systémique (Corbin & Strauss, 1990). L'objectif du chercheur inscrit dans cette voie est la découverte de modèles ¹³ et de processus pour comprendre comment des hommes et des femmes définissent, via leurs interactions sociales, leur réalité. Deux notions sont particulièrement pertinentes dans la *grounded theory* : (i) l'analyse comparative constante entre les éléments qui constituent les données (Glaser & Strauss, 1967) et (ii) l'importance accordée aux relations entre les concepts évoqués par les gens pour décrire la situation étudiée (Corbin & Strauss, 1990).

La *grounded theory* est controversée en partie dû au fait que chacun des deux auteurs de l'article séminal (Glaser & Strauss, 1967), revendique la paternité

12. Nous avons laissé cette définition dans la langue originale de ses auteurs pour éviter une érosion des nuances qu'elle contient

13. *patterns*, motifs

de la théorie et ont poursuivi des développements de celle-ci dans des voies subtilement divergentes (Walker & Myrick, 2006).

Techniquement, la *grounded theory* implique la réalisation d'entretiens qualitatifs auprès d'un échantillon constitué de personnes choisies de manière raisonnée pour répondre à un objectif de recherche initial ou pour creuser une voie issue de la théorie qui émerge des données déjà collectées. L'analyse des données d'entretien collectées implique ensuite un codage ouvert, inductif, dont les concepts n'ont pas été définis au préalable.¹⁴

Dans le cadre de notre recherche sur les pratiques agricoles, nous nous sommes penchés sur les études se référant spécifiquement à cette théorie particulière pour la raison qu'elle est présentée comme une théorie fondamentale pour toutes les approches inductives en sociologie¹⁵. Elle a des affinités avec le courant de la micro-sociologie française (Angermüller, 2005) et est largement citée par les méthodes de références pour l'analyse des données qualitatives (Miles & Huberman, 2003).

Publiées dans la littérature scientifique, différentes études sur la gestion des systèmes socio-écologiques en général (Reed, 2008) et des systèmes agraires en particulier (Vaarst *et al.*, 2003; Girard, 2006; Dessein & Nevens, 2007; Farmar-Bowers & Lane, 2009; Kerselaers *et al.*, 2013) se réfèrent à la *grounded theory*. Parmi ces travaux, deux sont spécifiquement centrés sur l'étude des pratiques et des décisions des agriculteurs (encadré 2.c).

14. Le codage d'un matériau qualitatif est une technique largement utilisée en sociologie. Cette technique est présentée en détail au chapitre 5, à la section 5.1.2, page 87. Il se résume à attribuer des étiquettes, ou *codes*, à certaines sections des entretiens. Ces sections peuvent être des segments de taille variable – mots, expressions, phrases ou même paragraphes entiers. Les codes peuvent être de nature catégorielle simple (*e.g.* réalité simple, opinion, *etc.*) ou de nature plus complexe (*e.g.* une métaphore ou une référence à une théorie). Il est évident (i) qu'un même code peut être assigné à une série de séquences différentes et (ii) qu'une même séquence d'entretien peut être reliée à une série de codes différents.

15. Cours 'Méthodologie qualitative : entretien compréhensif et récit de vie' de Marie Verhoeven, suivi à l'Université Catholique de Louvain en 2010

— Encadré 2.c – Deux études se référant à la *grounded theory* —

Vaerst *et al.* (2003) se sont inspirés des méthodes de la *grounded theory* pour étudier, via des entretiens qualitatifs, leur retranscription et leur codage inductif, les processus de décision des éleveurs laitiers en conversion biologique dans le traitement des mammites. Vingt agriculteurs danois ont constitué l'échantillon. Leur étude montre que la conversion implique des changements de pratiques qui se marquent essentiellement à l'échelle du territoire ou de la production des grandes cultures. L'auteur met en évidence que les éleveurs n'en perçoivent pas de changements au niveau de leur troupeau. Le sentiment des éleveurs d'être *bio* est essentiellement lié à la gestion du territoire et des cultures. En conséquence, les éleveurs se montrent peu enclins à adapter leurs pratiques liées à la prévention et au traitement des maladies (Vaerst *et al.*, 2003).

L'étude de Farmar-Bowers & Lane (2009) auprès des exploitations agricoles familiales australiennes visait à comprendre les processus de prise de décisions stratégiques des fermiers et leur implication pour les politiques de conservation de la biodiversité. Après une étude préliminaire auprès de 28 fermiers, 33 familles ont constitué leur échantillon. À partir des données d'enquêtes issues des entretiens approfondis, les auteurs développent leur *théorie des systèmes décisionnels*. Celle-ci suggère que les décisions prises au sujet de la biodiversité s'inscrivent dans des systèmes décisionnels qui dépendent de ce que les familles espèrent obtenir en retour en fonction de leurs motivations et de leurs aspirations. Ces aspirations se déclinent au niveau de la sphère familiale : plaisir, compétence, responsabilité familiale et au niveau de la sphère financière : augmentation du revenu, réduction des coûts (Farmar-Bowers & Lane, 2009).

2.2.3 Les approches systémiques, la prise en compte du facteur humain dans la compréhension et la modélisation des systèmes techniques

De nombreux chercheurs sont critiques à la fois par rapport aux approches techniques et par rapport aux approches anthropologiques. Ils ont suivi une voie médiane et, empruntant des outils, des méthodes à ces deux approches principales, ont développé des approches systémiques.

a Généralités

De nombreux travaux scientifiques sur les pratiques des agriculteurs sont le fruit du développement et de l'application de méthodes que nous qualifierons d'hybrides entre les études se référant aux deux paradigmes diamétralement opposés présentés dans les sections précédentes : (i) le paradigme hypothético-déductif réduisant le gestionnaire à un agent cartésien purement rationnel et (ii) le paradigme compréhensif, construisant les théories de manière inductives ancrées dans des données très largement qualitatives. Les chercheurs qui s'inscrivent dans cette voie le font car ils semblent conscients de leurs limites respectives. D'une part, les méthodes technico-centrées font preuve de réductionnisme qui limite leur capacité à représenter la réalité complexe des systèmes socio-écologiques, largement dominés par des aspects humains. D'autre part, les études socio-anthropologiques font preuve d'un caractère local (*micro-sociologie*) qui limite la possibilité d'exporter les modèles construits à d'autres contextes, dans le temps ou dans l'espace et de les utiliser de manière prévisionnelle dans des simulations pour évaluer des évolutions potentielles à la suite de la mise en œuvre de politiques ou aux évolutions des contextes climatiques ou économiques.

Les chercheurs de ce courant sont conscients de l'intérêt et des avantages à mobiliser les qualités des deux approches au sein d'une démarche scientifique hybride. L'intérêt majeur est la possibilité de prendre en compte des facteurs humains, sociaux et psychologiques pour la compréhension et la modélisation des systèmes agraires dans leur globalité (section b). Une partie de ces études s'inscrivent, notamment, dans les courants du 'Farming Systems Research' développés à la fin des années 1970 (section c).

b Des références à la psychologie

Dans cette section, nous présentons succinctement certaines références à la psychologie qui ont une influence sur l'étude des pratiques et des décisions. Bien que ces références apparaissent au sein d'une section sur les approches systémiques, nous sommes conscients que les théories psychologiques jouent un rôle important dans certaines approches techniques et anthropologiques.

L'influence déterminante des facteurs psychologiques dans la prise de décision des agriculteurs est pointée par de nombreuses études référencées dans la revue sur le sujet d'Edwards-Jones (2006). Ces facteurs ont été l'objet d'études menées par Marianne Cerf (Cerf, 1996).

Une partie des travaux fait référence à la Théorie du Comportement Planifié¹⁶ (Ajzen, 1991) pour chercher à comprendre les décisions dans l'adoption de mesures environnementales, d'innovations technologiques ou d'implantation de systèmes agro-forestiers (respectivement, Beedell & Rehman, 2000, Lynne *et al.*, 1995 et Zubair & Garforth, 2006 in Edwards-Jones, 2006). Cette théorie suggère que le comportement des agents est le fruit d'une interaction complexe entre, d'une part, l'attitude des agents vis-à-vis de ce comportement et de ses conséquences et, d'autre part, divers traits de la personnalité (normes sociales, confiance dans ses capacités, obligation morale).

Jager *et al.* (2000) ont mis en lumière cette théorie pour évaluer l'influence des facteurs humains dans la gestion des systèmes socio-écologiques. Ils ont créé de manière ludique un modèle multi-agents pour comparer, dans un monde virtuel composé d'un lac et d'une mine d'or, les effets des pratiques et des décisions d'une société constituée d'*Homo economicus* avec celles d'une société d'*Homo psychologicus*. Ils concluent que la prise en compte des comportements humains dans les modèles amène à une meilleure compréhension et, éventuellement, une meilleure gestion des processus impliqués dans les dégradations environnementales.

Des travaux sur les pratiques des agriculteurs font référence à la théorie de la *Personal Constructs Psychology* développée par George Kelly en 1955. Cette théorie établit la psychologie comme une science qui a pour but de tenter de mettre en ordre les faits des expériences humaines de sorte que le psychologue puisse faire de bonnes prédictions sur la manière dont les gens réagiront face à des situations nouvelles. Une partie des études qui s'y réfèrent est, dès lors, à la base d'une vision très mécaniste de la pensée humaine et d'une vision dichotomique très protocolaire des mécanismes de prises de décision (voir par exemple l'étude de Murray-Prior, 1998). La *Personal Constructs Psychology* est largement citée dans le domaine des sciences de gestion pour

16. *Theory of Planned Behaviour*

étudier le comportement des agents économiques et est même une source d'inspiration pour certains courants de la cartographie cognitive (Ackermann & Eden, 2010). Une revue complète sur la cartographie cognitive fait l'objet du chapitre 4 (page 59).

c La Farming Systems Research

Le courant du FSR est né en réaction aux courants de recherche dominants en science agronomique largement caractérisés par :

- une utilisation quasi exclusive d'approches réductionnistes et cartésiennes pour l'expérimentation et le traitement des données qui en sont générées (Vanloqueren, 2007),
- un cloisonnement disciplinaire,
- une orientation productiviste visant l'optimisation du système et l'augmentation constante des gains de productivité mesurés à l'aide d'indicateurs simples comme le rendement et
- la considération d'une agriculture à haut niveau de capitalisation comme modèle idéal de développement dans lequel l'orientation vers le marché des produits de base est rendu possible grâce à l'innovation technologique, les économies d'échelle et la spécialisation des fermes (Darnhofer *et al.*, 2012, pour les trois derniers points).

Si les approches dominantes ont tout de même pu être mises en œuvre avec succès dans certains contextes particuliers, elles laissent inexplorées des pans entiers des systèmes agraires qui sont, dans une large mesure, caractérisés par une hétérogénéité des conditions environnementales (pédo-climat), et par l'influence de facteurs sociaux et culturels. À l'opposé, les recherches qui relèvent du Farming Systems Research réservent, quant à elles, une importance primordiale à ces facteurs environnementaux et sociaux pour l'étude des systèmes agraires, intégrant à la fois des objets matériels et des perceptions subjectives, valeurs et préférences des agriculteurs (Darnhofer *et al.*, 2012). Elles ont leurs fondements dans l'épistémologie systémique, le *systems thinking* (Checkland, 1981).

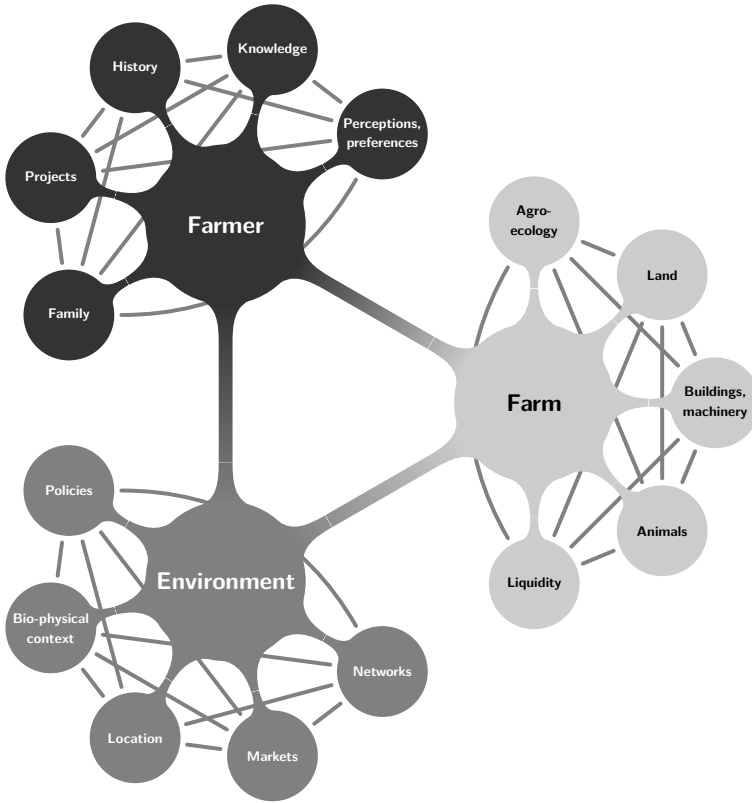


FIGURE 2.1 – L'agro-écosystème est un objet d'étude complexe. Selon la FSR, l'étudier revient à considérer au moins trois composantes majeures : le/la fermier(ère) et les membres de sa famille, la structure de l'exploitation et son environnement. Ces trois composantes se subdivisent elles-mêmes en éléments en interaction (schéma réalisé à partir de la figure 2 de Darnhofer *et al.*, 2012). Notons bien que ce graphe est illustratif et offre une perspective des différentes composantes d'un agro-écosystème. Nous pouvons regretter que certaines composantes ne soient pas explicites : le travail, sous-jacent au concept de *Farmer*, les ressources naturelles, la biodiversité et les facteurs abiotiques, sous-jacents au concept de *Bio-physical context* et enfin le domaine de la recherche et des groupes/contacts sociaux, sans doute sous-jacents au concept de *Networks*. Enfin, le concept d'*Agro-ecology* est uniquement lié à la ferme. Nous considérons que ce concept couvre une réalité plus complexe qui touche aussi les autres composantes de l'agro-écosystème : le fermier (via les pratiques), et l'environnement (mouvement social, organisation, recherche) (Stassart *et al.*, 2012)

Les trois propriétés essentielles du FSR sont (Darnhofer *et al.*, 2012) :

1. un ancrage profond dans la pensée systémique (*'Systems Thinking'*) (Checkland, 1981),
2. un crédit accordé à l'interdisciplinarité et
3. une utilisation d'approches participatives, impliquant les agents principaux des systèmes.

Les chercheurs qui se sont aventurés dans cette voie établissent leurs recherches dans les aspects techniques des *systèmes agraires*, mais, au vu de la complexité de ceux-ci et de l'importance du facteur humain, les ont considérés de manière systémique (figure 2.1). Ils ont, dès lors, incorporé des références, des méthodes et des théories du domaine des sciences humaines au sein de leurs approches techniques.

2.3 Quelle approche pour l'étude de la complexité et de la diversité des pratiques paysannes ?

Deux propriétés fondamentales caractérisent les éléments constitutifs des systèmes agraires : d'une part, la *complexité* de l'exploitation agricole, dont le fonctionnement ne peut être appréhendé que globalement et, d'autre part, la *diversité* des systèmes de production au niveau régional qui découle des particularités locales, du grand nombre de produits obtenus et de leurs multiples combinaisons (Landais *et al.*, 1988).

En cohérence avec la pensée systémique exposée à la section c, toute partie du système agraire est elle-même un système (ou sous-système) dont l'étude gagne à être réalisée également de manière (i) systémique, (ii) interdisciplinaire et (iii) participative.

Comme nous l'avons précisé dans l'introduction générale, les *pratiques paysannes* sont l'objet de notre recherche. Les pratiques s'expriment concrètement par la réalisation d'une série d'opérations techniques. Les déterminants et les modalités de ces pratiques sont, cependant, largement ancrés dans la composante humaine du système agraire (la branche *farmer* de la figure 2.1).

La composante humaine du système a également comme propriété d'en être le *centre décisionnel*, intégrant les états de l'ensemble des composantes en vue des définir les actions à mener, au travers des processus décisionnels (Aubry *et al.*, 1998). L'étude de la composante humaine et des pratiques gagne donc, en plus des trois qualités évoquées ci-dessus, à être menée au sein d'une approche compréhensive (Kaufmann, 2004; Darré *et al.*, 2004).

La démarche compréhensive requise pour l'étude des pratiques a deux implications liées aux données qu'elle brasse :

- les données sont récoltées lors d'*entretiens*, individuels ou collectifs, des agents concernés. Elles peuvent prendre différentes formes, mais la plus commune reste l'entretien *semi-dirigé* (Miles & Huberman, 2003; Kaufmann, 2004). Cette technique permet de pallier les limites des entretiens par questionnaire pour l'étude systémique de sujet complexe (Blanchet & Gotman, 1992);
- les données sont de nature *qualitatives*, elles sont issues des principaux matériaux collectés durant l'entretien, à savoir le discours de l'acteur. Cela n'exclut pas que certaines données quantitatives évoquées lors de l'entretien soient éventuellement collectées dans un questionnaire auxiliaire.

La part importante des facteurs humains dans l'élaboration des pratiques paysannes leur confère deux propriétés : une *complexité* intra-ferme et une *diversité* inter-fermes¹⁷. Bien que des évolutions récentes positives voient le jour, l'apprentissage, le développement et l'utilisation de ces techniques de collectes et d'analyse de données particulières ont été très largement délaissées par la recherche et l'enseignement traditionnel dans le domaine des sciences et techniques.

Face à la grande complexité du fonctionnement des systèmes agraires et des pratiques des agriculteurs, les approches modélisation-simulation et anthropologiques sont, chacune, spécifiquement intéressantes pour un aspect précis de cette complexité :

- pour les approches modélisation-simulation, la complexité technique du système intégrant lois physiques et biologiques et théories économiques au sein de modèle bio-économiques (Janssen & van Ittersum, 2007). Ces

17. Les deux mêmes propriétés qui caractérisent les systèmes agraires dans leur ensemble (Lan-dais *et al.*, 1988)

modèles peuvent être couplés à des composantes décisionnelles, mais dont la complexité n'est qu'en partie représentée (Ascough *et al.*, 2008) ;

- pour les approches socio-anthropologiques, la composante sociale et humaine de la complexité, sondant de manière fine les savoirs, conceptions ou perceptions des agents. Ces études sont menées par des équipes de recherche du domaine des sciences sociales appuyées par des équipes ancrées dans celui des sciences et techniques (e.g. Darré *et al.*, 2004). Elles produisent des monographies intéressantes, dont les résultats n'ont qu'une portée locale ou circonstancielle et dont l'intérêt pour la science agronomique est loin d'être évident aux yeux de bon nombre de chercheurs.

Si les outils développés par ces deux approches sont pertinents pour intégrer une part de la complexité des systèmes dans leur modèle, ils ont des capacités limitées pour appréhender clairement la *diversité*. Pour pallier à ce manque, les méthodes typologiques et de classifications viennent en appui à l'une ou l'autre démarche en amont ou en aval. L'essence des typologies est précisément le sondage et la mise en lumière de la diversité des exploitations. Au sein de ces approches, deux grandes familles sont définies : (i) les typologies de structure, distinguant les exploitations sur base de caractéristiques structurelles (orientation technique et économique, taille) et (ii) les typologies de fonctionnement, distinguant les exploitations sur base de caractéristiques fonctionnelles (pratiques, choix).

Si les typologies sont des outils intéressants pour révéler la diversité au sein des systèmes, elles sont, à l'inverse des approches techniques et anthropologiques, moins aptes à en appréhender la complexité.

À notre connaissance, il n'y a pas de méthodologie spécifiquement centrée sur l'étude des pratiques paysannes et qui :

- permette la mise en place d'une démarche compréhensive pour la collecte de données ancrées dans les savoirs et les conceptions des paysans,
- représente la complexité technique interne des pratiques,
- intègre la complexité des facteurs, humains et environnementaux, déterminant les pratiques,
- rende compte de la diversité des pratiques au niveau d'un paysage agro-écologique,

- intègre des aspects dynamiques pour permettre des simulations et évaluer l'influence des pratiques sur le fonctionnement de l'exploitation.

Conclusion

LES PRATIQUES PAYSANNES sont considérées comme un élément essentiel des systèmes agraires. Les différentes disciplines qui étudient les systèmes agraires (agronomie, sociologie rurale, anthropologie), conscientes du caractère essentiel des pratiques, les intègrent dans leurs modèles respectifs.

Nous avons présenté dans ce chapitre les principales voies empruntées par les scientifiques ruraux pour prendre en considération les pratiques paysannes dans leurs études. Nous avons remarqué que peu d'études sont spécifiquement centrées sur l'étude et la modélisation des systèmes de pratiques. Notre thèse de doctorat vise à participer à l'étude des pratiques paysannes en élaborant une méthodologie qui puisse intégrer au mieux les caractéristiques et les propriétés requises pour une telle aventure (section 2.3). Il nous semble évident d'inscrire le développement d'une telle méthodologie dans une vision systémique des pratiques, en appui à celle du FSR (section c). Dans ce contexte, les objectifs généraux, opérationnels et le cadre d'analyse complet de la thèse font l'objet du chapitre 3.

CHAPITRE 3

SYNTHÈSE ÉPISTÉMOLOGIQUE & CADRE D'ANALYSE

RÉSUMÉ

LE CADRE D'ANALYSE de notre démarche scientifique est l'objet de ce troisième chapitre. Il est introduit par une synthèse épistémologique sur les différents paradigmes et par le positionnement de notre démarche dans ce paysage.

Nous situons notre travail de recherche dans l'épistémologie pragmatiste. La méthodologie développée est empirique et intègre diverses méthodes issues de disciplines variées.

Deux *postulats* (section 3.2) ont constitué les fondations de la thèse : d'une part l'environnement des systèmes socio-écologiques est en évolution permanente et soumis à des aléas difficilement prévisibles et, d'autre part, les agents en charge de la gestion de ces systèmes adoptent des pratiques influencées, pour partie, par leurs conceptions de leur système, leurs visions du monde. Dans ce contexte, l'*objectif général* de notre recherche (section 3.3) est de construire une méthode d'*analyse systémique* des *pratiques* dans les *systèmes socio-écologiques* et de la *capacité d'adaptation* des agents dans un *contexte évolutif et incertain*.

La quête de cet objectif général et des objectifs opérationnels (section 3.3) est structurée autour de trois d'hypothèses (section 3.4). La thèse défendue dans ce manuscrit est explicitée à la section 3.5.

SOMMAIRE

3.1	Synthèse épistémologique	47
3.1.1	Le paradigme positiviste	48
3.1.2	Le paradigme constructiviste	49
3.1.3	Le paradigme pragmatiste	49
	a Une méthode ancrée dans l'expérience	50
	b Une connaissance provisoirement définitive	51
	c Une vérité relative	51
	d Une réalité continue, à solutions partielles et faillible	52
3.1.4	La position adoptée pour notre travail	53
3.2	Les deux postulats	54
3.3	Les objectifs de la recherche	54
3.3.1	Objectif général	54
3.3.2	Objectifs opérationnels	54
3.4	Les trois hypothèses	55
3.5	La thèse	55

3.1 Synthèse épistémologique : les paradigmes positiviste, constructiviste et pragmatiste

Dans une recherche, les approches privilégiées par le chercheur pour atteindre les objectifs sont dépendantes du paradigme auquel il adhère. Un paradigme peut se définir comme *'un ensemble de règles implicites ou explicites orientant la recherche scientifique, pour un certain temps, en fournissant, à partir de connaissances universellement reconnues, des façons de poser les problèmes, d'effectuer les recherches et de trouver des solutions'* (Gauthier, 1993, in d'Amboise, 2013).

L'histoire de la philosophie continentale et anglo-saxonne est balisée de paradigmes variés. Parmi ceux-ci, deux paradigmes fondamentaux cristallisent les débats épistémologiques en sciences sociales sur le continent : le positivisme et le constructivisme. Quelque peu délaissé sur le vieux continent, un courant d'idées solidement enraciné dans la culture américaine semblent pouvoir jouer le rôle de troisième voie : le pragmatisme.

Notons pour mémoire que certains chercheurs en sciences humaines se réclament d'un quatrième paradigme : plaidoyer/participatif. Centré sur l'étude d'individus ou de groupes sociaux discriminés, opprimés ou marginalisés (femmes, étrangers, précarisés, handicapés, ...), ce courant est proche du constructivisme mais considère que les enquêtes et les recherches doivent avoir une dimension politique et aboutir sur un plan d'action qui permettrait d'améliorer les conditions de vies des participants (Creswell, 2003).

Dans notre manuscrit, nous présentons une comparaison globale d'une part du positivisme et son approche hypothético-déductive et d'autre part du constructivisme et de son approche holistico-inductive. Les idées principales du pragmatisme, paradigme épistémologique dans lequel nous situons notre contribution scientifique, sont présentées plus en profondeur.

TABLE 3.1 – Postulats des paradigmes positiviste et constructiviste (Lincoln & Guba, 1985, p. 35)

Dimensions	Paradigme positiviste	Paradigme constructiviste (naturaliste)
Nature de la/des réalité(s)	Unique, tangible et fragmentable	Multiples, construites et holistiques
Relation connaissant–connu	Indépendants & duals	Interactifs & inséparables
Généralisations	Possibles au-delà du temps et du contexte	Hypothèses circonscrites dans le temps et le contexte
Liens causaux	Causes réelles, précédant temporellement les effets ou se présentant simultanément	Entités dans un état de formation simultanée mutuelle. Distinction causes–effets impossible
Enquête & valeurs	Neutre (<i>value-free</i>)	Liée aux valeurs (<i>value-bound</i>)

3.1.1 Le paradigme positiviste et l'approche hypothético-déductive

Le paradigme *positiviste* trouve ses origines dans les sciences de la nature. Les scientifiques y adhérant ont une vision objective de la réalité. Cette réalité est concrète et peut donc être observée et mesurée. D'abord appliquée aux sciences de la nature (biologie, physique, ...), elle a aussi inspiré une partie des chercheurs en science humaine. Ces chercheurs considèrent les êtres humains et leurs organisations comme un produit de forces de l'environnement et leurs actions comme soumises à des lois générales.

Dans le but de découvrir ces lois générales et de comprendre ainsi la réalité, les chercheurs de ce courant privilégient les approches *hypothético-déductives*, du général au particulier. Les étapes principales de la démarche sont : (i) la formulation d'une question de recherche, (ii) l'émission d'hypothèses et (iii) la mise en place d'un protocole pour infirmer ou confirmer ces hypothèses (d'Amboise, 2013).

3.1.2 Le paradigme constructiviste et l'approche holistico-inductive

Le paradigme *constructiviste* trouve ses origines dans les sciences humaines. Les scientifiques y adhérant ont une vision subjective de la réalité. Cette réalité est construite par les individus qui interprètent les phénomènes avec leurs conceptions. Selon cette conception, la compréhension des pratiques implique nécessairement une compréhension de ce que les humains pensent de celles-ci.

Dans le but de représenter la manière dont les humains conçoivent la réalité, les chercheurs de ce courant favorisent les approches *holistico-inductives*, du particulier au général. Le principe général de la démarche inductive est de collecter les données avec le moins d'idées préconçues possibles. La collecte des données peut être guidée par la formulation d'une question de recherche, mais celle-ci ne peut contraindre le processus. L'interprétation du matériau est une étape essentielle de la démarche scientifique. Elle vise à établir des relations entre les témoignages individuels, identifier des conceptions communes de la réalité et construire, à partir de là, des théories. La racine étymologique du terme *holistique* rend compte de l'importance de considérer l'objet d'étude dans sa totalité (d'Amboise, 2013).

3.1.3 Le paradigme pragmatiste et l'approche multi-méthodes

Le pragmatisme est un courant d'idées né au début du XX^e siècle et solidement enraciné dans la culture des États-Unis. Il doit son nom à C.S. Peirce qui l'emprunte à l'œuvre de Kant. En écho à la signification du terme *pratique* (*praktisch*), le pragmatisme désigne l'approche spécifique que réclame l'homme du point de vue de son appartenance au monde. (Cometti, 1994, pp. 387-391).

Selon la théorie discutée au sein du *Metaphysical Club* de Cambridge¹ et formalisée par Peirce, *une conception, c'est-à-dire la portée rationnelle d'un mot ou d'une expression, réside uniquement dans les effets concevables qu'elle est susceptible d'avoir sur la conduite de la vie* (Peirce, 1905 in Cometti, 1994).

Aux USA, les idées pragmatistes ont connu un premier essor qui s'est poursuivi jusqu'à la fin des années quarante et qui est essentiellement marqué par trois penseurs : Charles Sanders Peirce (1839-1914), William James (1842-1910), tout deux membres du Club de Cambridge, et John Dewey (1859-1952). Après la période marquée par la prépondérance de la pensée néo-positiviste (ou empirisme logique) issue du Cercle de Vienne (1920) des décennies cinquante et soixante, les idées pragmatistes trouvent un souffle nouveau au sein de mouvements postmodernes dont les penseurs principaux sont Richard Rorty et Hilary Putnam (Hottois, 1997, pp. 234-248 & 407-425).

Le pragmatisme est un courant de pensées très ouvert et il n'est, dès lors, pas étonnant que les vues de ses penseurs fondamentaux divergent très nettement sur un nombre important de sujets, à un point tel que de nouvelles dénominations ont été proposées par les auteurs eux-mêmes (pragmaticiste, instrumentaliste, ...) (Hottois, 1997, p. 237). Les détails des débats entre Peirce, James et Dewey et entre Rorty et Putnam dépassent largement le champs de cette section et de notre thèse. Nous tenons cependant à préciser quelque peu les principaux traits caractéristiques de ce courant de pensées singulier et critique à l'égard des métaphysiques, de l'idéalisme et du rationalisme, en particulier au niveau épistémologique et ontologique. Ces particularités sont présentées dans les paragraphes suivants.

a Une méthode ancrée dans l'expérience

Le pragmatisme est profondément méthodologique à plusieurs niveaux (Hottois, 1997, p. 236) :

- à la fois au sens moderne (de F. Bacon et R. Descartes), qui désigne une procédure sûre pour l'acquisition d'un savoir vrai ;

1. un groupe de philosophes qui se réunissaient à Cambridge, Massachusetts, durant la deuxième moitié du XIX^e siècle (Wible, 2008).

– et au sens étymologique, qui évoque l'idée du chemin (*odos* en grec) mais aussi la façon aventureuse de se le frayer en tatonnant et en intégrant le risque de s'égarer ou de tomber dans un cul-de-sac.

Ainsi la méthode (*meto-odos*, soit l'analyse du chemin après le parcours) et la méthodologie (*i.e.* le discours et les savoirs acquis par cette analyse) supposent au préalable l'expérience du chemin. Ce qu'énonce le pragmatisme est donc qu'il n'y a pas de méthode qui ne procède de l'expérience et que toute méthode doit toujours y retourner (Hottois, 1997).

b Une connaissance provisoirement définitive

De par son caractère empiriste présenté ci-dessus, les penseurs pragmatistes pensent que pour progresser et étendre le savoir, il ne faut pas fuir l'expérience, mais l'affronter dans toute sa complexité et sa variabilité et Dewey de préciser que '*pour découvrir la signification de l'idée, cherchons-en les conséquences*' (in Hottois, 1997, p. 236).

Le critère ultime du sens de la vérité et de la valeur d'une idée ou d'une connaissance est donc l'expérience, l'expérimentation ou l'épreuve. Si elle n'a pas de conséquence pratique, elle n'a pas de signification. Si, par contre, les conséquences sont positives, alors il y a à la fois du sens mais aussi de la vérité et de la valeur.

Les pragmatistes reconnaissent que le caractère positif d'une conséquence est relatif et peut varier entre les individus et évoluer au cours du temps. Les connaissances doivent alors être remises à l'épreuve et soumises à de nouvelles expériences. Cette conception est un aspect typique du pragmatisme, celui du mythe de l'exploration, de la recherche et de la conquête indéfinies, défiant toujours de nouvelles frontières (Hottois, 1997).

c Une vérité relative

La vérité n'est pas une froide copie de la réalité, mais elle est vivante et a pour fonction d'accroître notre être et de l'enrichir. Comme la santé, le bien-être, la richesse ou le bonheur, l'idée *vraie* nous procure une paix à la fois intérieure

et extérieur (Durkheim, 1914, p. 60). Pour James (1911 in Durkheim, 1914), *la vérité est quelque chose qui se fait, qui nous aide à vivre et dont le rôle est de faciliter notre action, notre pensée et dont le devenir se réalise, à mesure que notre vie se développe*. De cette conception de la vérité découle un trait caractéristique majeur du pragmatisme : le primat de l'action sur la théorie.

Pour Dewey, le relativisme de la vérité tient essentiellement au fait que l'expérience, dont dépend la vérité et la valeur, est contextuelle à un triple niveau : biologique, naturel et social et que ces trois niveaux sont en perpétuelle évolution. Pour ce penseur,

- est vraie une idée ou une théorie qui réussit à résoudre le problème qui l'a suscitée ;
- a de la valeur une conduite ou un état qui, à l'expérience, apporte de la satisfaction, du bonheur.

La vérité se trouve donc dans des caractères de ce qui est utile, efficace, pratique et opératoire dans une situation donnée. La valeur (le bon, le beau) ne s'en distingue pas et contribue au bien-être (Hottois, 1997).

d Une réalité continue, à solutions partielles ... et faillible

Peirce est faillibiliste, considérant qu'aucune vérité n'est définitive et absolue, indépendante de toute expérience à venir. Ce faillibilisme épistémologique est en lien avec le continuisme ontologique : on ne peut isoler complètement un élément de son contexte pour l'étudier et en dégager ainsi des certitudes (lien avec le holisme de Quine).

En cela, le pragmatisme s'oppose catégoriquement aux courants de pensées rationalistes, aux idéalistes et métaphysiques fondamentalistes, pour lesquels la réalité est donnée toute faite et achevée pour l'éternité. Pour le pragmatisme, James précise joliment qu'*elle est toujours en voie de se faire et attend que l'avenir vienne compléter sa physionomie* (James, 1968 in Hottois, 1997).

3.1.4 La position adoptée pour notre travail

La réalité scientifique est complexe et, pour l'aborder, de nombreuses approches coexistent : systémiques, cartésiennes, relativistes, naturalistes, phénoménologiques, réalistes. Si certaines s'ancrent de manière nette dans un paradigme particulier, d'autres sont employées indifféremment par l'un ou l'autre paradigme.

La position adoptée dans notre démarche scientifique relève du pragmatisme. Elle est profondément empiriste, basée sur une enquête dont les données servent de base à la connaissance. Elle est appliquée et vise à proposer une solution au problème de l'analyse systémique des pratiques dans les systèmes socio-écologiques. La recherche de solutions au problème posé a été réalisée par le développement d'une méthode spécifique en vue de répondre aux contraintes révélées en avançant, sans exclure *a priori* aucune voie, aucune approche. La méthode développée est originale, ancrée dans l'expérience, et intègre elle-même une multitude de méthodes ou procédures issues de disciplines variées (ethnologie, mathématique, statistique). Ces procédures permettent de collecter et de traiter conjointement des données quantitatives et des données qualitatives. Une partie des critères pour évaluer la qualité de la recherche s'ancre dans une conception tout à fait pragmatiste, à savoir que la vérité est ce qui fonctionne ici et maintenant².

En cohérence complète avec l'idée pragmatique, nous pensons que les méthodes de recherche se basent obligatoirement sur l'expérience. Dans ce cadre, le chemin (*odos*) emprunté dans notre thèse n'était pas dénué de risques, d'impasses et d'embûches. Mais pour progresser et étendre le savoir, il convient d'affronter l'expérience dans toute sa complexité et sa variabilité (Hottois, 1997). C'est la démarche que nous avons adoptée et que nous défendons dans notre thèse de doctorat.

2. Les éléments de ce paragraphe ont été inspirés des supports des cours donnés par le Prof. Erik Mathijs, à la KULeuven et des lectures qu'elles ont suscitées.

3.2 Deux postulats fondent notre démarche scientifique

1. L'environnement social, économique et écologique des systèmes socio-écologiques est marqué par des *évolutions* permanentes difficilement prévisibles³. De plus, vus les *conséquences écologiques, économiques et sociales* des activités humaines contemporaines sur les systèmes naturels⁴, leur exploitation durable implique des évolutions profondes dans la gestion des systèmes socio-écologiques et donc l'*adaptation* (sous peine de disparition) des agents⁵.
2. Les opportunités et les contraintes de l'environnement écologique, économique et social sont évaluées par les agents pour élaborer les stratégies à la base de leurs *pratiques*⁶. Cette prise en considération est influencée par les *conceptions* (les *visions du monde*) que les agents ont du système socio-écologique et de son contexte⁷.

3.3 Les objectifs de la recherche

3.3.1 Objectif général

Construire une méthode d'*analyse systémique* des *pratiques* des agents dans la gestion des *systèmes socio-écologiques* et de leur *capacité d'adaptation* dans un *contexte évolutif et incertain*.

3.3.2 Objectifs opérationnels

1. *Modéliser* de façon inductive et semi-quantitative les *pratiques*

3. Holling, 2001; Mazoyer & Roudart, 2002; Ascough *et al.*, 2008

4. Costanza, 1995; McIntyre *et al.*, 2009

5. Holling, 2001; Mazoyer & Roudart, 2002

6. Dent *et al.*, 1995; Schlüter *et al.*, 2012

7. Mazoyer & Roudart, 2002; Darré *et al.*, 2004

2. Révéler et caractériser la *diversité* des pratiques au sein des systèmes socio-écologiques
3. Révéler et caractériser les *capacités d'adaptation* des agents dans un contexte évolutif et incertain

3.4 Trois hypothèses structurent notre travail de recherche

1. Une démarche inductive basée sur la parole⁸ des agents est pertinente pour l'étude et la modélisation des pratiques.
2. S'inscrivant dans l'histoire des systèmes socio-écologiques, les systèmes de pratiques sont le fruit d'interactions complexes entre contraintes environnementales, évolutions techniques et dynamiques sociales. Dans ce contexte, les systèmes de pratiques peuvent être comparés les uns aux autres et être classifiés pour en analyser la diversité.
3. Les systèmes de pratiques des agents intègrent des composantes qui leur confèrent une capacité d'adaptation dans un contexte évolutif et incertain.

3.5 La thèse que nous défendons

Dans les systèmes socio-écologiques, la capacité d'adaptation des agents repose, au moins en partie, sur les systèmes de pratiques.

Le développement d'une approche systémique, inductive, semi-qualitative et dynamique est pertinent pour l'analyse de la complexité et de la diversité des systèmes de pratiques dans les systèmes socio-écologiques.

8. Glaser & Strauss, 1967; Darré, 1985; Kaufmann, 2004

Conclusion

LE CONTEXTE GÉNÉRAL DE LA RECHERCHE a soulevé différentes questions sur l'étude des pratiques dans les systèmes socio-écologiques. Ces questions sont à la base de notre thèse. Elles ont été présentées en détail dans ce cadre d'analyse. La deuxième partie de notre manuscrit vise à détailler l'approche méthodologique développée pour traiter les questions soulevées.

DEUXIÈME PARTIE

*

APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE DÉVELOPPÉE POUR L'ANALYSE DES SYSTÈMES DE PRATIQUES

CHAPITRE 4

LA CARTOGRAPHIE COGNITIVE : DE LA SIMPLICITÉ À LA COMPLEXITÉ

RÉSUMÉ

LA NOTION DE CARTOGRAPHIE COGNITIVE est introduite en 1948 par le psychologue comportementaliste américain E.C. Tolman (section 4.1). Dans sa conception, elle désigne les processus de représentation spatiale chez les mammifères. Elle est encore utilisée de nos jours dans les neurosciences (section 4.2).

En 1976, R.M. Axelrod s'approprie le concept de cartographie cognitive pour modéliser la connaissance scientifique sociale et les processus de décision sur base des représentations et des conceptions des agents (section 4.1). À cette fin, le modèle qu'il propose prend la forme d'un graphe orienté composé de concepts liés par des relations causales. Il nomme ce modèle carte cognitive. Depuis, il a été couramment utilisé en sciences humaines (section 4.3).

En 1986, B. Kosko lie les méthodes de la logique floue et des réseaux neuronaux pour développer le *Fuzzy Cognitive Mapping*. Dans ce cadre, les opérations mathématiques qu'il propose sont rendues possibles par les développements informatiques. Elles s'inscrivent cette fois dans les sciences de l'ingénieur (section 4.4). Par la suite, les applications du *Fuzzy Cognitive Mapping* ont également été développées par les scientifiques d'autres disciplines pour comprendre et modéliser des systèmes dynamiques complexes dans des domaines très variés et notamment les systèmes socio-écologiques (section 4.5).

SOMMAIRE

4.1	Deux courants de la cartographie cognitive	62
4.2	En neurosciences	66
4.3	En sciences humaines	67
4.4	En sciences de l'ingénieur	70
4.5	L'étude des systèmes socio-écologiques	72

Introduction

UNE REVUE DES PRINCIPAUX TRAVAUX SCIENTIFIQUES qui ont initié, développé ou utilisé la *cartographie cognitive*¹ sont présentés dans le premier chapitre de cette partie consacrée à l'approche méthodologique développée dans le cadre de la thèse.

Les travaux séminaux ont conduit à des conceptions variées du concept de *carte cognitive*² (section 4.1). La conception initiale est un processus de représentation spatiale chez les mammifères. C'est donc une référence dans le domaine des neurosciences (4.2). La deuxième conception est une représentation schématique d'une situation sous la forme d'un réseau de concepts et de relations. Elle est adoptée par les chercheurs dans les sciences humaines (section 4.3) et dans les sciences de l'ingénieur (section 4.4). De manière plus particulière, cette deuxième conception est employée pour l'étude des systèmes socio-écologiques (section 4.5).

Une analyse bibliométrique a été réalisée dans le but de proposer un état de l'art systématique de l'utilisation des approches de cartographie cognitive. Elle a été menée à l'aide d'équations de recherche précises pour l'exploration des bases de données de Scopus³ pour les articles et de GoogleScholar⁴ pour les livres. Sauf indication contraire, les équations ont été évaluées en mai 2013. Les résultats de l'analyse ont été repris dans différentes sections pour illustrer notre propos.

1. *Cognitive Mapping* en anglais. Dans notre thèse, les termes généraux de *carte* – et *cartographie cognitive* sont utilisés en français dans le texte. Certains termes plus spécifiques, comme *Fuzzy Cognitive Map* sont maintenus en anglais dans le texte, la langue dans laquelle sont publiés les principaux travaux scientifiques les utilisant.

2. *Cognitive Map* en anglais

3. <http://www.scopus.com/>

4. <http://scholar.google.be/>

4.1 Des travaux séminaux d'E.C. Tolman (1948) à ceux de Robert M. Axelrod (1976) : la naissance des deux courants de la cartographie cognitive

Le terme de *Cognitive Map* est introduit dans la littérature scientifique par le psychologue américain EDWARD C. TOLMAN dans un article paru en 1948. Ses recherches s'inscrivent dans l'approche comportementaliste de la psychologie expérimentale, une discipline issue de travaux initiés au XIX^{ème} siècle et dont un des objectifs était la description et l'explication des comportements directement observables chez l'homme et chez l'animal. Dans son article de 1948, E.C. Tolman étudie les processus d'apprentissage des rats par l'analyse de leur comportement dans différents types de labyrinthes. Ses expériences viennent étayer sa thèse selon laquelle *l'apprentissage ne se réduit pas à des connexions de type stimulus-réponse, mais consiste en une mise en relations, dans le système nerveux, d'éléments qui fonctionnent comme des cartes cognitives* (Tolman, 1948). Il associe donc le terme à une construction mentale de l'espace.

Dans son livre de 1976, ROBERT M. AXELROD⁵ s'approprie le terme de carte cognitive pour rendre compte de la structure de la décision des élites politiques. Il cherche plus particulièrement à représenter les connaissances sociales et modéliser les processus de décision dans les systèmes sociaux et politiques (Aguilar, 2005). Cette représentation consiste en un graphe orienté⁶ composé de concepts – des variables en jeu dans les processus de décisions – reliés entre eux par des relations causales. Un exemple basique de ce type de carte cognitive est présenté à la figure 4.1.

À cette époque, ce type de figure est loin d'être une révolution en science. Leur développement et leur utilisation s'inscrivent dans la tradition de la théorie des graphes qui trouve son origine dans les travaux de Leonhard Euler au XVIII^{ème} (Boccaletti *et al.*, 2006) et le fameux problème des sept ponts

5. Robert M. Axelrod est Professeur de Science Politique et de Politique Publique à l'Université du Michigan. Il est surtout connu pour ses travaux ultérieurs sur la coopération et la théorie des jeux coopératifs (Axelrod & Hamilton, 1981, cité de 1836 fois). Il s'intéresse actuellement à la théorie de la complexité et a recours, dans ce cadre, aux outils de modélisation multi-agents.

6. en anglais *directed graph*, appelé parfois simplement *digraph*

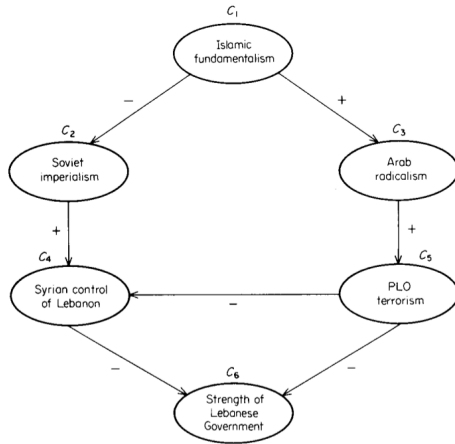


FIGURE 4.1 – Carte cognitive construite à partir de l'article de Henry A. Kissinger 'Starting Out in the Direction of Middle East Peace' paru dans le Los Angeles Times en 1982 (Kosko, 1986)

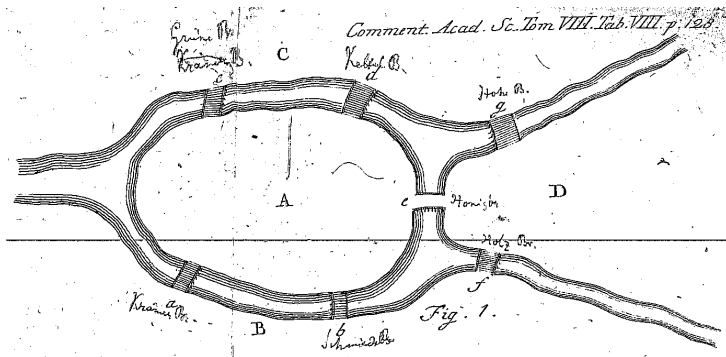


FIGURE 4.2 – A Königsberg, il n'existe pas de promenade qui permette de faire la visite des quatre parties de la ville en ne passant qu'une seule fois sur chacun des sept ponts (Euler, 1736)

de Königsberg (Euler, 1736) : dans cette ville, il n'existe pas de promenade qui permettent de faire la visite des quatre quartiers en ne passant qu'une seule fois sur chacun des sept ponts (figure 4.2). Par ailleurs, des graphes orientés ont, déjà à cette époque, été utilisés pour la construction de modèles structurels (Harary *et al.*, 1965, ouvrage théorique sur les mathématiques). Dans les approches sociologiques, l'analyse des réseaux sociaux est développée à partir des années 1920 (Wellman, 1926 in Boccaletti *et al.*, 2006).

Malgré ces antécédents, l'étude d'Axelrod *et al.* (1976) est originale en ces deux innovations :

- la construction de modèles est réalisée par les agents eux-mêmes, ou sur base de leurs représentations, plutôt que par les chercheurs ;
- ce type de représentation est nommé, pour la première fois, carte cognitive.

Dans la littérature scientifique, 1872 articles font référence à la cartographie cognitive (Scopus, équation = TITLE-ABS-KEY("cognitive map*") AND (LIMIT-TO(DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE, "re"))⁷). La répartition de ces articles en fonction des sujets traités est présentée à la figure 4.3. L'article de Tolman (1948) et le livre d'Axelrod *et al.* (1976) sont largement cités par ces travaux. Ils sont chacun à l'origine d'une conception précise de la cartographie cognitive.

La conception de Tolman (1948) a inspiré des travaux qui s'inscrivent dans le champ disciplinaire précis des *neurosciences* et des sciences de la cognition en psychologie. Sa publication est citée 3326 fois (GoogleScholar). Une vue synoptique de l'évolution de cette conception est présentée à la section 4.2.

La conception de Axelrod *et al.* (1976, cité 2207 sur GoogleScholar) a suscité un intérêt vis à vis d'une plus grande diversité de sujets. Elle a directement inspiré des travaux en *sciences humaines* (gestion, sociologie, anthropologie), présentés à la section 4.3, mais elle est aussi à l'origine des développements mis en œuvre dans les *sciences de l'ingénieur* comme l'informatique, l'intelligence artificielle ou la robotique. Ces développements sont présentés à la section 4.4. Enfin, cette conception s'est avérée pertinente pour l'étude des systèmes socio-écologiques. Nous proposons une revue des travaux dans ce domaine à la section 4.5.

7. "ar"=article, "re"=review

Computer Science	421
Social Sciences	391
Psychology	372
Neuroscience	332
Engineering	292
Business, Management and Accounting	258
Medicine	180
Environmental Science	141
Decision Sciences	140
Agricultural and Biological Sciences	137
Mathematics	115
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	91
Arts and Humanities	79
Earth and Planetary Sciences	59
Economics, Econometrics and Finance	37
Multidisciplinary	26
Physics and Astronomy	19
Nursing	18
Health Professions	16
Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	12
Other subjects	35

FIGURE 4.3 – Distribution des articles se référant aux approches de la cartographie cognitive en fonction des sujets traités (1872 articles, Scopus, mai 2013). *Nota bene* – Un article peut traiter de plusieurs sujets différents : *psychology et neurosciences, business... et decisionetc.*

L'évolution du nombre de publications annuelles traitant de cartographie cognitive dans ces différents domaines présente une croissance marquée, surtout depuis le début des années '90 (figure 4.4).

4.2 La cartographie cognitive dans les neurosciences

Les travaux de Tolman (1948) ont inspiré bon nombre de psychologues dans l'étude de la navigation spatiale des humains et des animaux, insectes ou mammifères (Wang & Spelke, 2002). Sur les 1872 documents de la cartographie cognitive, 618 (i.e. 33,0%) traitent du sujet dans les champs de la psychologie ou des neurosciences (resp. n=372 et 332). 86 études se classent dans les deux catégories.

Trois systèmes, ou mécanismes, majeurs sous-tendent la navigation chez les animaux :

- l'intégration de trajets (*path integration*) (see McNaughton *et al.*, 2006) ;
- la reconnaissance de lieux sur base d'éléments visuels (*view-dependent place recognition*) ;
- la réorientation (*reorientation*) (Wang & Spelke, 2002)

Suivant la définition initiale faite par Tolman (1948), une carte cognitive peut être considérée comme la représentation interne de l'environnement spatial, avec ses itinéraires, ses voies et ses connexions écologiques, utilisée par un animal pour pouvoir décider où aller (Bennett, 1996). Outre le fait de distinguer la droite de la gauche et de réaliser l'apprentissage d'un trajet, Tolman (1948) montre la capacité des êtres à intégrer les expériences passées et à mémoriser les points de repère pour réaliser de nouvelles connexions, pour trouver de nouveaux raccourcis suivant des voies non empruntées antérieurement. C'est, selon l'auteur, le point d'intérêt central du concept des cartes cognitives (Bennett, 1996).

La notion de cartographie cognitive reste sujet à vifs débats en psychologie⁸. Deux raisons ont poussé Bennett (1996) à émettre l'idée que les cartes cognitives n'étaient plus une hypothèse utile pour l'étude des comportements spatiaux des animaux : (i) le fait qu'aucune expérience n'avait montré de manière indubitable l'existence des cartes cognitives chez les animaux, car des explications plus simples pouvaient expliquer les raccourcis ; (ii) les confusions nées des multiples définitions des cartes cognitives⁹.

Des travaux plus récents ont d'ailleurs permis de mettre au jour que des comportements spatiaux de mammifères, précédemment attribués à des cartes cognitives *permanentes*, *géocentriques* et *compréhensives*, dépendraient de représentations qui sont au contraire *dynamiques*, *égocentriques* et *limitées* à un nombre restreint d'informations sur le milieu (Wang & Spelke, 2002).

4.3 La cartographie cognitive dans les sciences humaines

L'étude d'Axelrod *et al.* (1976) sur la structure de la décision est ancrée dans la discipline des sciences politiques. Elle a donc une influence particulière et directe sur les approches de cartographie cognitive utilisées dans les études en sciences humaines, majoritairement en sciences de gestion et en sciences politiques, mais aussi en sociologie et en anthropologie. Dans ce domaine, la cartographie cognitive est une méthode pertinente pour étudier les connaissances partagées au sein des groupes sociaux (Carley & Palmquist, 1992). D'une part, elle peut impliquer un grand nombre d'individus. D'autres part, elle permet aisément des comparaisons de cartes : entre elles, avec celles des experts ou avec des cartes idéales (Carley & Palmquist, 1992). Les études publiées dans ce domaine sont au nombre de 592 (soit 31,6%). Elles se classent

8. Pour une revue complète et très critique sur l'utilisation du concept de carte cognitive dans le domaine des neurosciences, nous renvoyons le lecteur à l'article de Bennett (1996).

9. Dans sa revue des multiples écoles qui utilisent les cartes cognitives dans le domaine des sciences cognitives et du comportementalisme, Bennett (1996) précise que, malgré leur multiplicité, deux définitions dominent : (i) celle de E.C. Tolman, présentée ci-dessus, et (ii) celle de C.R. Gallistel, englobant celle de Toman et selon laquelle une carte cognitive est toute représentation de l'espace qu'un animal se fait (Gallistel, 1989, 1993 & 1994 in Bennett, 1996).

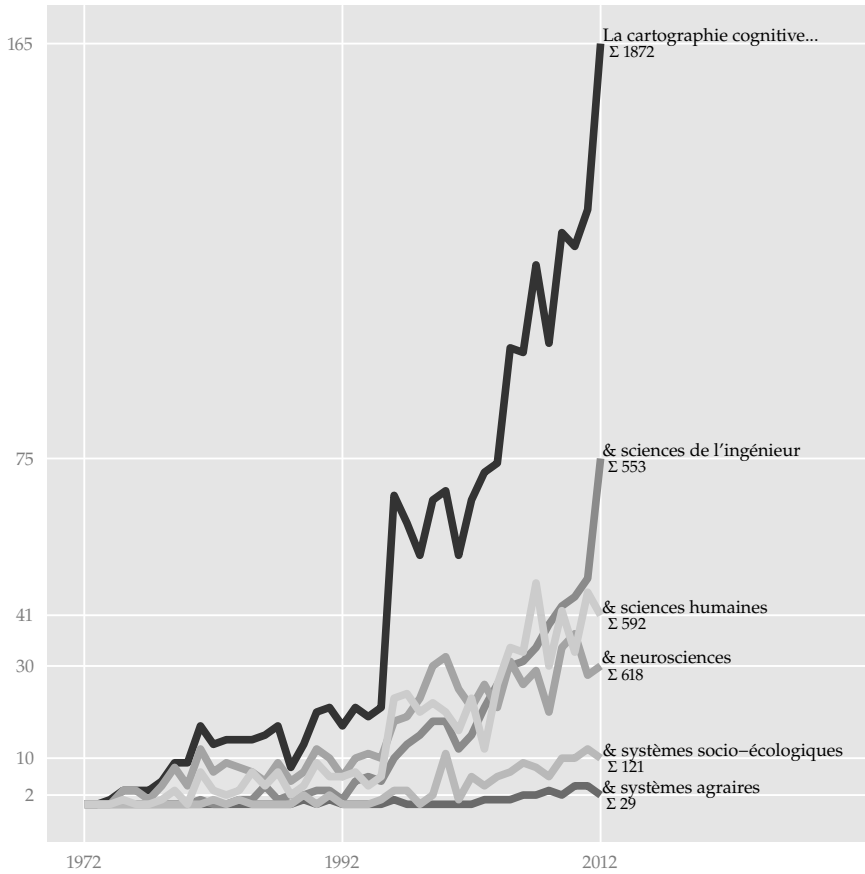


FIGURE 4.4 – Le nombre de publications annuelles sur la cartographie cognitive est en augmentation pour l'ensemble des champs disciplinaires présentés durant les quarante dernières années (1872 articles, Scopus, mai 2013)

au sein des catégories de sujets *Social sciences* (n=391) et *Business, Management and Accounting* (n=258). 57 études se classent dans les deux catégories.

En sciences de gestion et en sciences politiques, les études ont pour objet les processus de décisions (Özesmi & Özesmi, 2004) pour la gestion de projets ou au sein des organisations : entreprises privées (e.g. Tikkanen *et al.*, 2005; Pinch *et al.*, 2010), instances publiques ou politiques (Eden & Ackermann, 2004, e.g.) voire de groupes sociaux divers (e.g. l'Utrecht Jazz Orchestra¹⁰, Bougon *et al.*, 1977). Elles ont des objectifs qui vont de la simple représentation schématique d'une situation, typiquement une difficulté ou un problème rencontré (Eden, 2004), à la construction d'un système d'aide à la décision complet (Kwahk & Kim, 1999; Nakamura *et al.*, 1982 in Özesmi & Özesmi, 2004). Une partie de ces études est publiée dans des journaux en recherche opérationnelle appliquée (Eden, 1988; Eden & Ackermann, 2004; Eden, 2004) ou théorique (théorie des jeux, Klein & Cooper, 1982).

Dans le cadre de l'étude des organisations, les travaux de C. Eden et F. Ackermann occupent une place particulièrement importante (Eden *et al.*, 1992; Eden & Ackermann, 2004; Ackermann & Eden, 2010). Ces auteurs ont développé la méthode Strategic Options Development and Analysis (SODA)¹¹ utilisée pour représenter une situation problématique à l'aide de cartes cognitives individuelles ou collectives. Cette méthode implique une schématisation d'un système complexe comprenant de multiples buts et objectifs. Elle permet aux participants d'explorer des options et de trouver des solutions négociées.

En sciences sociales, les études ont pour objet les perceptions qu'ont les individus des systèmes sociaux complexes (Malone, 1975 in Özesmi & Özesmi, 2004). Elles abordent des sujets variés : processus d'apprentissage en éducation (Carley & Palmquist, 1992; Mellado *et al.*, 2008), les questions du genre (Winterstein & Eisikovits, 2005), les comportements sociaux des familles (Witvliet *et al.*, 2010) ou des adolescents (Lansford *et al.*, 2009). Peu d'études en anthropologie ont mobilisé les approches de cartographie cognitive. Nous pouvons citer un exemple appliqué à la taxonomie d'ustensiles de

10. Les auteurs de cette étude parle de *cause map* lorsque les variables sont placées en cercle et d'*etiograph* lorsqu'elles sont placées en réseau. La racine de *etio* est grecque (*αιτια*) et signifie 'la cause, la raison, pourquoi'.

11. pour Strategic Options Development and Analysis

cuisine au Mexique (Kaplan & Levine, 1981) et une étude sur l'importance de l'ethnicité dans l'agriculture indonésienne (Pierce Colfer & Newton, 1989).

De nombreuses approches de cartographie cognitive portent sur des sujets de médecine et des sciences de la santé (180, soit 9,6%, figure 4.3). Ces études présentent une analogie avec les études classées en sciences humaines. Elles traitent par exemple des processus décisionnels dans le diagnostic médical (Stylios *et al.*, 2008; Papageorgiou, 2011) ou des représentations de la douleur (Vincent *et al.*, 2010; Vázquez *et al.*, 2011), de la malnutrition (Chen *et al.*, 2007) dans le cadre des soins infirmiers.

4.4 La cartographie cognitive et les sciences de l'ingénieur

Dans une vision mathématique et informatique, les scientifiques de l'ingénierie considèrent le *Fuzzy Cognitive Mapping* à la croisée de deux méthodologies qui lui sont pré-existantes : les logiques floues (*fuzzy logic*) et les réseaux neuronaux (*neural network*) (Motlagh *et al.*, 2012). Ils ont largement contribué à développer la carte cognitive initiale de Axelrod *et al.* (1976). Ces développements portent sur :

- la structure des cartes, avec l'incorporation de la logique floue, *fuzzy* ;
- leur description, avec l'utilisation des indicateurs de la théorie des graphes ;
- et leur analyse, l'incorporation de la méthode d'*auto-associative neural network* qui ouvre la voie aux inférences et aux simulations

Les études publiées dans ce domaine sont au nombre de 553 (soit 29,5%). Elles se classent au sein des catégories de sujets *Computer sciences* (n=421) et *Engineering* (n=292). 160 études se classent dans les deux catégories.

Dans le domaine des sciences de gestion, Axelrod *et al.* (1976) ont modélisé d'une manière systémique la structure de décision d'acteurs à l'aide de digraphes signés (*signed digraphs*), des graphes orientés dont les relations ont un signe ('+' ou '-'). Entre les nœuds qu'ils nomment les concepts-variables,

ils identifient deux propriétés intrinsèques aux relations de causalités¹² de la carte cognitive :

- leur orientation, indiquant de la causalité, $X \longrightarrow Y$ et
- le sens de leur effet, positif ou négatif, $X \xrightarrow{+1} Y$ ou $X \xrightarrow{-1} Y$.

Initialement inspiré par le modèle d'Axelrod *et al.* (1976), Bart Kosko a développé la notion de *Fuzzy Cognitive Map* (FCM)¹³ et l'a formalisée dans un article de 1986. Se référant au philosophe écossais des Lumières, David Hume, il part du postulat que la causalité relève d'une complexité bien supérieure à la simple implication logique et développe l'idée que cette nature du raisonnement causal peut se représenter à travers le cadre théorique de la logique floue (*fuzzy logic*), ou des ensembles flous (*fuzzy sets*). Très concrètement, aux relations binaires des cartes cognitives, il associe une variable continue, un réel compris entre -1 et 1 , qui est une fonction de l'importance de la causalité. Son papier est très nettement axé sur la formalisation mathématique des FCMs. Il y détaille également les notions de matrice d'adjacence, de centralité, ...¹⁴

Il est intéressant de noter à ce stade que, dans la vision de Kosko (1986), une FCM est acyclique, ce qui signifie que les éléments n'ont pas d'influence sur eux-mêmes. Cela implique que, mathématiquement, la diagonale principale de la matrice d'adjacence est nulle. Ce postulat n'a pourtant pas été repris unanimement par les scientifiques dans des développements ultérieurs des FCM. Certains scientifiques ont pris le contre-pied de la proposition en y voyant la possibilité d'y appliquer le principe systémique de boucles de rétroaction (*feedbacks*).

Comme évoqué dans cette section, les techniques de *Fuzzy Cognitive Mapping* sont issues des sciences de l'ingénieur et de l'informatique. Cependant,

12. Les auteurs qui ont appliqué une méthodologie de cartographie cognitive emploient indistinctement l'un ou l'autre terme dans leurs études, *concept* ou *variable*. Dans cette thèse, nous optons pour le terme de *variable*, en cohérence avec nos articles publiés en anglais.

13. ...dont la traduction française est littéralement 'carte cognitive floue'. Ce terme n'a été utilisé que de manière exceptionnelle dans sa formulation française : la requête "carte cognitive floue" OR "cartes cognitives floues" n'a proposé que 40 documents dans Google Scholar le 5 mai 2013). Elle ne sera pas non plus employée dans le cadre de cette thèse.

14. Ces notions ainsi que la structure et le fonctionnement des cartes cognitives sont présentés en détails aux sections 5.1.3, 5.1.4 et 10.3 du chapitre 5 Matériels et Méthodes.

elles sont largement appliquées en dehors de ce domaine (gestion, processus décisionnels, organisations, systèmes sociaux, systèmes socio-écologiques) et impliquent, même dans ces cas, l'usage de l'informatique au moins à partir d'un certain degré de complexité. Dans leur domaine originel des sciences de l'ingénieur, les publications s'inscrivent en grande partie dans le domaine de l'intelligence artificielle (Aguilar, 2005) en appliquant l'approche à des domaines variés :

- les systèmes autonomes de contrôle, de supervision (Stylios & Groumpos, 1998),
- les mondes virtuels appliqués aux animaux (Dickerson & Kosko, 1994) ou, ajoutant aux aspects rationnels, l'aspect émotionnel des processus de décision humaine (Aguilar, 2005),
- le *data mining* (Hong & Han, 2002).

En outre, la récente étude de Mago *et al.* (2012) a permis de développer des approches évolutionnaires pour modéliser les systèmes sociaux complexes (cas de l'épidémie du HIV) par le couplage des méthodes du *Fuzzy Cognitive Mapping* et des *cellular automata*. Enfin, nous ne résistons pas à mentionner l'étude de Motlagh *et al.* (2012). Ces auteurs utilisent des méthodes de *Fuzzy Cognitive Mapping* pour programmer et étudier la navigation des robots dans des labyrinthes ... comme le faisait Tolman (1948) avec des souris.

4.5 La cartographie cognitive pour l'étude des systèmes socio-écologiques

À côté des sciences sociales, des sciences de gestion et de la médecine, les sciences de l'environnement ainsi que les sciences agronomiques et biologiques sont autant de champs d'application privilégiés pour les approches de cartographie cognitive. Dans cette revue bibliographique, ces différentes applications ont été présentées selon un cloisonnement disciplinaire. Il est apparu, sans surprise, que ce cloisonnement est très nettement perméable et que des recoupements s'opèrent entre les champs de recherche. Ce constat est particulièrement saillant dans l'étude des systèmes socio-écologiques. Ces

systèmes se caractérisent par une complexité telle que leur étude invite à adopter une démarche pluridisciplinaire.

Les études publiées dans ce domaine sont au nombre de 246 (soit 13%). Elles se classent au sein des catégories de sujets *Environmental sciences* (n=141) et *Agricultural and biological sciences* (n=137). 32 études se classent dans les deux catégories.

Les systèmes socio-écologiques sont des systèmes cohérents d'écosystèmes et de communautés humaines interdépendants et en interaction réciproque (voir chapitre 10, page 228, pour une présentation théorique détaillée & glossaire).

Notre revue bibliographique et l'analyse bibliométrique ont été réalisées en comptabilisant les articles sur la cartographie cognitive utilisant un ou plusieurs mots clés suivants : 'ecologic*', 'natural resource*', 'climate', 'soil*', 'water management', 'agric*', 'fish*' ou '*forest*' ¹⁵. Un total de 121 publications ont été recensées ayant donc pour principal objet d'étude la gestion des ressources naturelles (*Natural Resource Management*).

Différentes propriétés de la gestion des ressources naturelles rendent l'utilisation d'approches de modélisation basées sur la connaissance des individus particulièrement pertinente (Özesmi & Özesmi, 2004) :

- La gestion des ressources naturelles implique des décisions et des actions humaines qui peuvent avoir des conséquences sur l'écosystème. Dans ce cadre, il est pertinent de s'intéresser aux représentations que les parties prenantes ont du système ;
- La complexité inhérente de ces systèmes fait que les connaissances scientifiques manquent. Dans ce cadre, les connaissances des individus, des agents, des parties prenantes constituent une ressource complémentaire intéressante (voir aussi Hobbs *et al.*, 2002) ;
- La gestion environnementale est complexe et la résolution de problème peut s'avérer sans solution optimale. Dans ce cadre, il est pertinent de

15. L'équation de recherche complète est la suivante : (TITLE-ABS-KEY("cognitive map*") AND TITLE-ABS-KEY(ecologic* OR "natural resource*" OR climate OR soil* OR "water management" OR agric* OR fish* OR *forest*)) AND (EXCLUDE(SUBJAREA,"NEUR")) AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"re"))

disposer d'un outil qui intègre les connaissances diverses et simule des options pour discuter des conséquences ;

- Les systèmes écologiques peuvent être considérés comme un bien commun (voir Petrella, 1996). Dans ce cadre, il est pertinent de disposer d'un outil qui permette d'intégrer l'opinion publique sur des questions globales (questions de santé, investissements publics, visions à long terme ...)

En plus,

- le nombre de parties prenantes (*stakeholders*) peut être élevé et
- les objectifs, intérêts de ces parties prenantes peuvent être variés, divergents, voire contradictoires.

Dans ce cadre, la cartographie cognitive offre un outil de communication pertinent entre les personnes concernées et même une base pour la construction de modèle à partir de leurs perceptions (van Vliet *et al.*, 2010). L'article incontournable dans ce domaine est celui de Özesmi & Özesmi (2004). Ces auteurs y dressent une petite revue de la bibliographie sur le sujet. Ils y développent aussi une approche *multi-step* complète de *Fuzzy Cognitive Mapping* pour les modèles écologiques, de l'obtention des cartes à la simulation des politiques. Cet article est une des sources d'inspiration principales de notre travail de thèse.

Dans la littérature en écologie, les sujets de recherche étudiés par la cartographie cognitive se regroupent autour de trois thèmes principaux : la forêt, l'eau et l'agriculture.

Les études sur la gestion des ressources forestières occupent une place importante parmi les approches de cartographie cognitive appliquées aux systèmes socio-écologiques (n=35). Elles ont comme objets d'étudier :

- la gestion durable des forêts (Sustainable Forest Management (SFM)). L'utilisation de la cartographie cognitive pour établir des indicateurs de durabilité dans le cadre du SFM (Wolfslehner & Vacik, 2011; Mendoza & Prabhu, 2006) ;
- les objectifs des propriétaires forestiers (Tikkanen *et al.*, 2006) ;
- les options politiques et leur influence potentielle sur les ressources, sur l'aménagement du territoire (Kok, 2009; Soler *et al.*, 2011) ;
- les conflits pour les ressources (Hjortso *et al.*, 2005) ;
- les pratiques d'agroforesterie (Isaac *et al.*, 2009)

La gestion des ressources en eaux est un deuxième sujet particulièrement étudié par les approches de cartographie cognitive (n=20). Dans ce contexte, comme dans le cas des systèmes forestiers, les études visent à comprendre :

- les conceptions et les objectifs des parties-prenantes (Hobbs *et al.*, 2002; Özesmi & Özesmi, 2003, 2004; Prigent *et al.*, 2008; Mathevet *et al.*, 2011; Meliadou *et al.*, 2012);
- les décisions des individus (Gray *et al.*, 2012);
- l'influence des politiques, notamment sur la gestion durable des ressources (Özesmi & Özesmi, 2004; Carpani & Giupponi, 2010; Piirimäe *et al.*, 2010)

Elles s'appliquent à de multiples objets :

- lacs (Hobbs *et al.*, 2002; Özesmi & Özesmi, 2003, 2004);
- pêcheries (Prigent *et al.*, 2008; Gray *et al.*, 2012);
- bassins versants (Carpani & Giupponi, 2010; Piirimäe *et al.*, 2010);
- zones humides (Mathevet *et al.*, 2011);
- côtes maritimes (Meliadou *et al.*, 2012)

L'agriculture est le troisième domaine qui a été particulièrement étudié par les approches de cartographie cognitive.

Notre revue bibliographique et l'analyse bibliométrique ont été réalisées en comptabilisant les articles sur la cartographie cognitive utilisant un ou plusieurs mots clés suivants : 'agric*' ou 'farm*' ¹⁶. Les résultats de notre requête révèlent que seules 29 études liées au domaine agricole utilisent les approches de la cartographie cognitive. Cependant, une analyse plus fine de ces publications a abouti à l'évincement de 15 publications ¹⁷. Nous avons ajouté à cette liste l'étude d'Ortolani *et al.* (2010) publiée sous la forme d'un chapitre de livre. Finalement, seules quinze études ¹⁸ sont intimement lié au monde agri-

16. L'équation de recherche complète est la suivante : (TITLE-ABS-KEY("cognitive map*") AND TITLE-ABS-KEY(agric* OR farm*) AND EXCLUDE(SUBJAREA, "NEUR") AND (LIMIT-TO(DOCTYPE,"ar") OR LIMIT-TO(DOCTYPE,"re")))

17. Un article utilise le terme de cartographie cognitive dans un sens totalement divergent du notre (Guthman, 2008). Quatorze autres articles ne traitent de l'agriculture que de manière très indirecte (Madu & Jacob, 1991; Özesmi & Özesmi, 2003; Fons *et al.*, 2004; Hjortso *et al.*, 2005; Chema *et al.*, 2006; Hall & Sandilands, 2007; Tilt *et al.*, 2007; Prigent *et al.*, 2008; Piirimäe *et al.*, 2010; Seekamp *et al.*, 2011; Dolci *et al.*, 2012; Meliadou *et al.*, 2012; Giordano *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2013).

18. Le fait que plus de la moitié des résultats de l'équation doit être rejetée peut paraître absurde. Cela découle du choix de maintenir une équation simple. Le travail qualitatif de tri et d'analyse plus fine qui en découle est structurant. Il est rendu possible par le petit nombre d'articles (< 30) trouvés par cette requête. Ce travail n'a pas pu être réalisé pour l'ana-

TABLE 4.1 – Quinze travaux scientifiques ont appliqué des approches du *Fuzzy Cognitive Mapping* au domaine agricole.

Étude	Sujet	Localisation	Échelle	Cartographie
Pierce Colfer & Newton (1989)	Conceptions des sols et liens	Indonésie	Ferme	Fermiers
Popper <i>et al.</i> (1996)	Connaissances et croyances sur les pesticides	Guatemala	Ferme	Fermiers et épouses
Rezaei-Moghaddam <i>et al.</i> (2006)	Conception sur deux paradigmes de l'agriculture durable	Iran (Sud)	Région	Experts
Newig <i>et al.</i> (2008)	Évolution institutionnelle	Allemagne & Autriche	Région	Experts & <i>stakeholders</i>
Isaac <i>et al.</i> (2009)	Gestion de la ferme et pratiques dans systèmes agroforestiers (cacao)	Ghana	Ferme	Fermiers
Papageorgiou <i>et al.</i> (2009), Papageorgiou (2011)	Évaluation du rendement de coton en agriculture de précision	Grèce (Centrale)	Champ	Experts
Carpani & Giuppéoni (2010)	Évaluation de politiques agro-environnementales	Italie (Venise)	Bassin versant	Experts
Fairweather (2010)	Perceptions du fonctionnement des systèmes (ferme)	Nouvelle Zélande	Ferme	Fermiers
Ortolani (2010)	Perceptions des mesures agro-environnementales	Belgique	Ferme	Fermiers
Rajaram & Das (2010)	Les composantes de la soutenabilité d'un agro-écosystème	Inde (Sud)	Communauté (Village)	Fermiers & villageois
Fairweather & Hunt (2011)	Soutenabilité des fermes d'élevage ovin & bovin	Nouv. Zélande	Ferme (& Type)	Fermiers
Najafi (2011)	Prédiction du prix de production du riz	Iran	Pays	Experts
Papageorgiou <i>et al.</i> (2013)	Prédiction du rendement des pommes	Grèce (Central)	Champ	Experts
Vanwindekens <i>et al.</i> (2013a)	Complexité et diversité des pratiques	Belgique	Ferme d'élevage	Éleveurs

cole (table 4.1). Malgré leur nombre restreint, elles reflètent bien la diversité des approches présentées dans les sections précédentes :

- la modélisation mathématique : dans le but d'évaluer les rendements de la culture du coton (Papageorgiou *et al.*, 2009; Papageorgiou, 2011) ou des vergers de pommiers (Papageorgiou *et al.*, 2013), de prédire l'évolution du prix du riz de la ferme au détaillant (Najafi, 2011) ;
- l'analyse des décisions, de la gestion ou des pratiques (Isaac *et al.*, 2009; Fairweather & Hunt, 2011; Vanwindekens *et al.*, 2013) ;
- la simulation des politiques, scénarisation (Rezaei-Moghaddam *et al.*, 2006; Newig *et al.*, 2008; Carpani & Giupponi, 2010) ;
- la modélisation des composantes de durabilité d'un agro-écosystème complet (Rajaram & Das, 2010) ;
- la compréhension et comparaison des représentations des agriculteurs sur leurs propres systèmes (Fairweather, 2010), des mesures agri-environnementales (Ortolani *et al.*, 2010) ;
- l'étude anthropologique de l'influence de l'ethnicité sur les conceptions des agriculteurs Indonésiens de leurs sols et du lien qu'ils entretiennent avec ceux-ci (Pierce Colfer & Newton, 1989) ou des connaissances et des croyances des paysans mexicains sur les pesticides (Popper *et al.*, 1996).

L'introduction de notre article (Vanwindekens *et al.*, 2013, voir chapitre 7) présente aussi une revue de la littérature sur l'application de la cartographie cognitive en agriculture. La comparaison des applications de cette technique dans les quinze articles scientifiques est présentée à la table 4.1.

lyse de la bibliographie liée aux autres domaines et nous sommes conscients que le niveau d'interprétation diffère.

Conclusion

DE NOMBREUX DOMAINES DE RECHERCHE issus de différentes disciplines scientifiques ont utilisé l'une ou l'autre forme de la cartographie cognitive comme méthode pour représenter et analyser leurs objets d'étude. Dans ce chapitre, nous avons synthétisé les principales approches dans le domaine des neurosciences, des sciences humaines (de gestion, sociales) et des sciences de l'ingénieur. Les domaines d'applications potentiels sont quasi illimités. Nous avons terminé le chapitre en illustrant différentes application de la cartographie cognitive pour l'étude des systèmes socio-écologiques.

La méthode que nous avons développée dans le cadre de notre thèse s'inscrit dans cette dernière voie. Elle exploite les outils de la cartographie cognitive et de la théorie des graphes pour l'étude et l'analyse des pratiques dans les systèmes socio-écologiques. Le mode opératoire de notre méthode est présenté au chapitre 5.

MODE OPÉRATOIRE DE NOTRE APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

RÉSUMÉ

UNE APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE ORIGINALE a été développée pour étudier les pratiques dans les systèmes socio-écologiques. Elle vise à modéliser les systèmes de pratiques sur base du discours des agents. Elle intègre donc la conception qu'ils ont de leurs propres systèmes. La parole des agents est collectée lors d'entretiens compréhensifs individuels enregistrés et, par la suite, retranscrits.

Ce matériau qualitatif est traité par le chercheur lors d'une phase de codage inductif. Le codage consiste à identifier et coder les relations établies par les agents entre les concepts de leur système. Les relations codées sont utilisées pour la construction des cartes cognitives individuelles.

Une carte cognitive individuelle modélise un système de pratiques en intégrant la complexité. Plusieurs cartes cognitives individuelles peuvent être agrégées en une carte cognitive sociale pour l'étude des pratiques à l'échelle d'une communauté (village, région agro-écologique).

Deux applications concrètes ont été développées. L'application descriptive a pour but d'étudier la complexité des systèmes de pratiques. L'application comparative et typologique a pour but d'étudier la diversité des systèmes de pratiques entre les exploitations.

SOMMAIRE

5.1	Le cœur de la méthode	83
5.1.1	La récolte des données	83
	a L'échantillonnage	84
	b La grille d'entretien	85
	c La conduite des entretiens	85
	d La retranscription des entretiens	86
5.1.2	Le codage du matériau	87
	a Le codage thématique des entretiens	88
	b Le codage inductif des entretiens	89
5.1.3	La génération des Cartes Cognitives Individuelles	93
5.1.4	La génération des Cartes Cognitives Sociales	95
5.2	Développement des aspects descriptifs de la méthode	97
5.2.1	Analyse graphique	98
5.2.2	Analyse mathématique	98
5.2.3	Analyse des entretiens	98
5.3	Développement des aspects analytiques de la méthode	99
5.3.1	Le classement <i>a priori</i>	100
5.3.2	La classification <i>a posteriori</i>	101
	a La mesure de la similarité	101
	b Le 'clustering'	103
5.3.3	Le Social Mapping	104
5.3.4	L'analyse comparative	104
5.4	Critères de qualité & véracité de l'approche	106
5.4.1	Critères de qualité en recherche quantitative	106
5.4.2	Critères de qualité en recherches qualitatives	107
	a La crédibilité	108
	b La transférabilité	109
	c La fiabilité (<i>dependability</i>)	109
	d La confirmabilité	110
5.4.3	Application des critères de qualité	111

Introduction

A FIN D'EXPLORER LES HYPOTHÈSES exposées au chapitre 3, nous avons développé une nouvelle approche : a Cognitive Mapping approach for Analysing Systems Of Practices (CMASOP). En cohérence avec une conception pragmatiste de la démarche scientifique (voir la synthèse épistémologique au chapitre 3), les développements méthodologiques ont été suscités par les questions qui ont émergées de notre travail de recherche et font parties intégrantes de notre démarche.

La stratégie de recherche adoptée dans notre travail s'inscrit naturellement dans le cadre de l'épistémologie pragmatiste (Creswell, 2003). Elle consiste à intégrer, en fonction des besoins, une multitude de méthodes et de procédures (*mixed methods approach*, nommons-la approche multi-méthodes) pertinentes pour la compréhension et l'étude des systèmes de pratiques. Parmi les différentes articulations possibles, notre stratégie privilégie une articulation *séquentielle* des procédures qu'elle intègre¹ : les résultats d'une procédure sont utilisées comme données d'entrées pour la procédure suivante.

La perspective pragmatiste et l'approche multi-méthodes supportent, et valorisent, des séquences de méthodes et de procédures de nature diverse, qualitative et quantitative. Nous appuyant sur cette perspective, nous avons développé une méthodologie originale qui articule :

- des approches qualitatives et inductives, communément utilisées dans les sciences sociologiques et anthropologiques pour la conduite et le traitement d'entretiens qualitatifs, semi-dirigés (Glaser & Strauss, 1967; Kaufmann, 2004) ;
- des approches quantitatives et techniques basées, notamment, sur (i) le Fuzzy Cognitive Mapping pour la modélisation graphique et mathématique des pratiques telles que les agents les conçoivent (Axelrod *et al.*, 1976; Kosko, 1986; Özesmi & Özesmi, 2004) et (ii) les statistiques pour la description, l'analyse et la comparaison des modèles.

1. Les autres articulations possibles sont l'utilisation de procédures *concurrentes* ou *transformatives*. Elles ne s'excluent pas mutuellement.

La méthode développée s'applique à l'étude des systèmes de pratiques dans les milieux socio-écologiques en général. Dans le cadre de notre thèse de doctorat, nous l'avons appliquée à l'étude d'un cas particulier : celui des agriculteurs et de leurs pratiques liées à la gestion des prairies dans les systèmes d'élevage bovins en régions herbagères d'Ardenne et de Famenne (Belgique). Le contexte de notre étude de cas est présenté au chapitre 6.

Pour nous, un système de pratiques d'un agriculteur est un système conceptuel qui met en relation ses objectifs de type *business & way of life*, les décisions qu'il prend, les actes techniques prévus et réalisés, les contraintes environnementales et techniques rencontrées et ses visions du monde. Basée sur la notion de système de pratiques proposée par Cristofini *et al.* (1978), notre définition est plus englobante (voir encadré 2.a).

Ce chapitre présente rapidement les différentes phases de la méthode et ses applications possibles. La première section de ce chapitre retrace les grandes étapes du cœur de la méthode : la récolte des données, le codage du matériau, la génération de Cartes Cognitives Individuelles, ou Individual Cognitive Map (ICM), et de Cartes Cognitives Sociales, ou Social Cognitive Map (SCM). La deuxième et la troisième section de ce chapitre illustrent ensuite chacune une finalité possible de la méthode et ses applications potentielles pour :

1. la description des systèmes de pratiques (section 5.2) ;
2. la comparaison et la typologie des systèmes de pratiques (section 5.3).

Certains de ces éléments sont détaillés dans les articles des chapitres 7 et 8. D'autres éléments, plus sobrement présentés dans les articles, sont, par contre, présentés ici en détail.

La dernière section de ce chapitre présente les critères de qualité proposés pour apprécier la véracité (*trustworthiness*) de l'approche développée. Les critères proposés sont ceux qui sont communément admis dans les méthodologies de recherche qualitative en sciences sociales et en sciences humaines.

La méthode pour l'analyse des pratiques a ouvert la voie à des développements complémentaires qui ont pu être initiés dans le cadre de notre thèse : l'étude des pratiques adaptatives des agents et l'évaluation de la résilience

des exploitations. La méthodologie liée à ces développements complémentaires est présentée dans le chapitre 'Approche exploratoire et perspectives' (chapitre 10) et en annexe (annexe F) de ce manuscrit.

5.1 Le cœur de la méthode développée

Le principe général de la méthode développée consiste à générer une représentation du système de pratiques d'un agent au départ de la retranscription d'un entretien semi-dirigé mené auprès de celui-ci, au sujet des pratiques étudiées. Elle est constituée de quatre phases (figure 5.1) : (i) la récolte des données (ii) le traitement des entretiens retranscrits, (iii) la génération des ICM et finalement (iv) la génération des SCM. Ces phases sont décrites dans cette section.

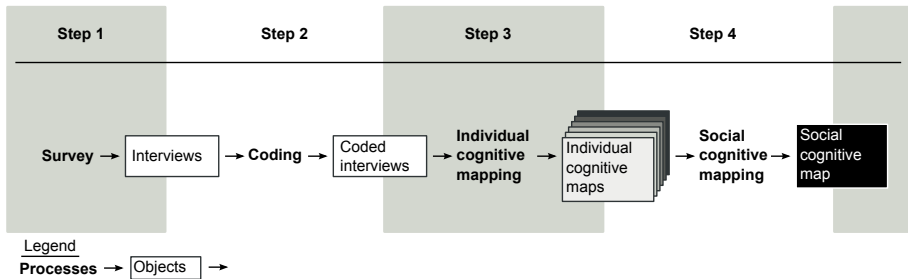


FIGURE 5.1 – Le cœur de la méthode développée, de la récolte des données à la création des Cartes Cognitives Sociales

5.1.1 La récolte des données, l'enquête (Étape 1)

La récolte des données initiales se subdivise en trois phases : la préparation de l'enquête qualitative, la conduite des entretiens semi-dirigés et leur retranscription. La réalisation de ces trois étapes s'inscrit dans la lignée des méthodes qualitatives utilisées dans les sciences humaines, en sociologie et en anthropologie, dont beaucoup font elles-mêmes référence à la *grounded*

theory de Glaser & Strauss (1967) (voir section b). Nous nous sommes particulièrement inspirés d'auteurs du monde scientifique français (Kaufmann, 2004) et américain (Miles & Huberman, 2003) pour la préparation et pour la conduite de l'enquête qualitative.

a L'échantillonnage

Le choix des agents interviewés et celui des thèmes abordés lors des entretiens sont les deux éléments qui constituent la préparation de l'enquête qualitative. Pour le guider dans ces choix, le chercheur élabore préalablement le cadre conceptuel du système étudié. Ce cadre conceptuel vise à délimiter les dimensions de l'objet étudié et permet d'identifier et de mettre en relation les facteurs essentiels (Miles & Huberman, 2003, p.41). Des questions de recherche, voire même des hypothèses, peuvent également être formulées à ce stade. Le cadre conceptuel de la thèse est présenté au chapitre consacré à l'étude de cas (chapitre 6, figure 6.2, p. 119).

L'échantillonnage des agents est influencé par les caractéristiques de ceux-ci, des milieux écologiques et sociaux dans lesquels ils vivent et des processus retenus comme les plus pertinents dans le cadre de l'étude (Miles & Huberman, 2003). Le principe qui guide l'échantillonnage des agents dans notre méthode est la recherche d'un maximum de diversité des systèmes de pratiques. À cette fin, nous proposons l'utilisation de la technique d'échantillonnage raisonnées sur base des informations à disposition du chercheur. Cette technique peut être complétée par un échantillonnage en cascade, s'identifiant au *snowball sampling* théorisé par Goodman (1961), et qui consiste à constituer l'échantillon de manière raisonnée sur base d'informations collectées auprès des sources déjà interrogées (Pires, 1997).

Le *snowball sampling* s'avère particulièrement utile dans les cas où, pour des raisons diverses, l'accès aux données n'est pas aisé² (Pires, 1997). Il nous a semblé pertinent de l'utiliser dans l'étude des systèmes de pratiques vu que les pratiques et les raisons qui les sous-tendent ne sont pas recensées et

2. informations cachées ou questions relevant d'un caractère intime ou délicat

publiques et qu'elles ne sont, dès lors, pas facilement accessibles à la communauté scientifique. Par contre, elles sont bien connues des agents, des agriculteurs et de leurs familles, au niveau local.

Pratiquement, cette méthode implique logiquement l'identification d'une, voire de plusieurs personnes ressources initiales. En outre, elle permet de raisonner l'échantillonnage en fonction des positions, centrales et périphériques, des agents dans le système étudié, des liens qu'ils ont entre eux et avec l'objet d'étude. Enfin, par sa nature, elle implique une évolution, une inflexion constante de l'échantillonnage en fonction des données collectées.

b La grille d'entretien

La grille d'entretien (guide ou questionnaire, en fonction des approches) se formule sur base du cadre conceptuel et, éventuellement, autour des questions de recherches et des hypothèses de travail. Il est essentiel qu'elle ne soit pas constituée d'une série de questions fermées mais plutôt d'une liste de thèmes à aborder. Dans la méthode développée, les objets d'étude sont les pratiques de gestion dans les systèmes socio-écologiques. L'étude de celles-ci relève d'approches socio-techniques et inclus, dès lors, une composante technique importante. Différentes parties de la grille d'entretien y sont consacrées, notamment pour l'analyse des opérations menées par l'agent pour la gestion du système. Au besoin de l'étude, la grille d'entretien peut porter seulement sur une partie du système ou sur l'une ou l'autre opération. La composante sociale de la grille concerne les opinions, les visions de l'agent au sujet du contexte global de son activité.

c La conduite des entretiens

La posture prise lors des entretiens s'inspire des prescriptions émises par Kaufmann (2004) pour la réalisation d'entretiens compréhensifs. Elle est caractérisée par une démarcation marquée par rapport à un style neutre, fermé et impersonnel, le style 'questionnaire'. Elle requiert l'implication, la mobilisation voir même l'empathie de l'enquêteur. Elle implique également diverses

techniques de relance de la conversation pour favoriser l'expression ou encore initier le débat (Kaufmann, 2004).

La prise de contact avec les agents est réalisée par téléphone. Les objectifs généraux de la recherche sont précisés et la participation de l'agent est sollicitée. De notre expérience, rares sont les agents avec lesquels les relations s'arrêtent à ce stade. En cas d'accord, les rendez-vous sont fixés, généralement aux domiciles des agents ou aux sièges de leurs activités.

La grille d'entretien, un cahier de note et un enregistreur constituent la base matérielle emportée lors des enquêtes. Pour l'étude des systèmes socio-écologiques, il peut être intéressant d'appuyer les discussions de documents cartographiques : plans, photographies satellitaires, *etc.*

Lors de l'entretien, la ou les personne(s) qui prenne(nt) les décisions de gestion quotidienne de l'activité sont interviewées, souvent en présence d'autres membres de la famille (parents, conjoints, enfants, *etc.*). Pour débiter, les objectifs et la méthode de travail sont présentés. Sans objection de la part des agents, l'entretien est enregistré. Des notes peuvent être prises au vol pour permettre de suivre le fil du discours, voire de le structurer. Naturellement, l'entretien doit prendre la forme d'une conversation autour des thèmes repris dans la grille. Les échanges sont réguliers, mais avec le soin de laisser l'agent s'exprimer le plus librement possible sur les questions abordées. Il convient d'éviter d'orienter les réponses. Enfin, il faut évaluer de temps à autres l'état d'avancement de l'entretien en fonction du temps écoulé et des disponibilités de la source.

d La retranscription des entretiens

Les entretiens enregistrés sont réécoutés intégralement et, avec l'aide des différentes notes, retranscrits *in extenso* dans des documents d'encodage. La précision de la retranscription est adaptée pour les parties, plus techniques, qui ne requièrent pas une retranscription complète : pour les données chiffrées de l'exploitation, par exemple. Il convient au minimum que l'ensemble des idées et points de vue émis par l'agent soit relevé. Pour des raisons techniques exigées par les phases de traitements, les documents d'encodage sont

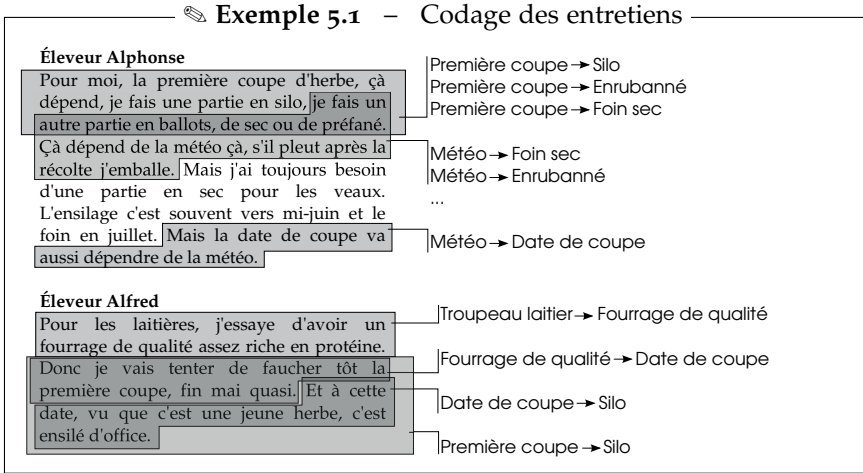
des fichiers informatiques de type ‘texte brut’ dont l’extension consacrée est classiquement ‘.txt’.

5.1.2 La condensation des données qualitatives, le codage du matériau (Étape 2)

Selon Miles & Huberman (2003), la condensation des données renvoie à l’ensemble des processus de sélection, simplification, abstraction et transformation des données brutes. Cette étape implique déjà certains choix analytiques : choix des blocs de données à coder, de ceux à extraire, des configurations qui vont intégrer tel ou tel bloc. Elle consiste à élaguer, trier, distinguer, rejeter et organiser les données de telle sorte qu’on puisse en tirer des conclusions. Dans les études anthropologiques et sociologiques classiquement menées en sciences humaines, cette étape constitue le noyau de l’analyse des données et produit les éléments qui serviront à établir les théories et les conclusions. Dans l’approche socio-technique que nous développons, cette phase de condensation est également centrale. Néanmoins, elle est réduite à certaines manipulations précises décrites dans la suite de cette section.

Dans la méthode développée, la condensation des données qualitatives est centrée sur le codage³ des retranscriptions des entretiens (voir l’exemple 5.1). L’opération de codage consiste à attribuer des étiquettes, ou codes, à certaines sections des entretiens. Ces codes peuvent être liés à des segments de taille variable – mots, expressions, phrases ou même paragraphes entiers. Ces codes peuvent être de nature catégorielle simple (*e.g.* réalité simple, opinion, *etc.*) ou de nature plus complexe (*e.g.* une métaphore ou une référence à une théorie). Il est évident (i) qu’un même code peut être assigné à une série de séquences différentes et (ii) qu’une même séquence d’entretien peut se voir assignée d’une série de codes différents. L’utilité du codage des entretiens réside dans le fait que, une fois l’opération réalisée, le chercheur peut parcourir le matériau suivant différents fils conducteurs. Le chercheur peut ainsi extraire et analyser l’ensemble des segments codés et correspondant à

3. Codage et codification font référence à la même réalité. Nous utilisons codage, traduction stricte de l’anglais *coding*, légèrement plus utilisé que *codification* dans la littérature anglophone des sciences humaines.



une question de recherche, à une hypothèse ou à un thème (Miles & Huberman, 2003).

Dans le cadre de notre méthode, deux types de codage peuvent être réalisés : un codage thématique et un codage inductif. Le codage thématique est descriptif et optionnel. Il se justifie par un besoin d'organiser les données qualitatives. Le codage inductif est le véritable nœud de la méthode développée. Il vise à identifier les relations évoquées par l'agent pour décrire son système de pratiques, ensemble de relations qui est à la base de la modélisation de ce système.

a Le codage thématique des entretiens (optionnel)

Un codage thématique peut être réalisé pour diviser l'entretien en différents thèmes pour, éventuellement, les étudier indépendamment. Cette étape n'est cependant pas essentielle à la suite de l'analyse, l'entretien complet pouvant être de suite codé de façon inductive (voir le point b de cette section). Dans ce codage thématique, les codes sont de nature descriptive, basés exclusivement sur la structure de la grille d'entretien. La liste des codes est établie avant l'étape de codage. Les codes ne sont pas tous sur un même niveau, mais ils peuvent s'inscrire dans une structure hiérarchique, identique à celle

de la grille d'entretien : certains codes sont liés à des thèmes (*e.g.* structure de l'exploitation, gestion de l'élevage, gestion des surfaces, contexte global, *etc.*), d'autres à des sous-thèmes (*e.g.* alimentation, reproduction, ... ; récolte, conservation, ... ; *etc.*) et d'autres encore à des éléments plus particuliers (analyse des fourrages, sources d'informations, contraintes de l'exploitation, *etc.*). La liste complète des codes thématiques fait l'objet de l'annexe B (p. 291).

b Le codage inductif des entretiens

Le codage inductif est le véritable nœud de la méthode. La liste des codes utilisés n'est pas établie préalablement au codage proprement dit. À ce titre, ce codage se distingue fortement du codage thématique et acquiert son qualificatif d'inductif (voir section 3.1, p. 47). Cette phase est illustrée à l'exemple 5.1. Les étapes ultérieures sont également illustrées sur base des informations de cet exemple.

Dans cette phase de codage inductif, un code est constitué d'une *relation* entre deux *concepts*.

Les concepts – Un *concept* est défini comme un élément évoqué par l'agent pour décrire son système de pratiques. Un concept a une influence sur le système de pratiques ou est influencé par celui-ci. Ces concepts peuvent correspondre à des éléments et des réalités de natures diverses : des objets matériels (incluant animaux, main d'œuvre, *etc.*), des lieux, des états (d'un objet), des actions ou autre. Ils peuvent être inclus dans différents domaines : technique, écologique, économique ou social. Certains éléments importants, comme les facteurs extérieurs tels que les conditions météorologiques ou le prix des denrées, des intrants et des produits, ne sont pas influencés par le système de pratiques de l'agriculteur, ou de manière très indirecte. Comme précisé ci-dessus, la liste des concepts utilisés pour le codage inductif n'est pas établie *a priori*, elle s'établit en cours de codage.

Les relations – Une *relation* est un lien logique entre deux concepts évoqué par l'agent et identifié dans son entretien. Elle révèle l'influence des concepts

les uns sur les autres. Les relations identifiées peuvent également être de natures diverses : séquence d'opérations, résultat d'une opération, utilisations d'objets (produits), conséquences d'opérations ou d'états, conditions ou *drivers* pour des opérations ou des produits et constats généraux. Logiquement, comme la liste des concepts, la liste des différentes relations n'est pas établie *a priori*, elle s'établit en cours de codage. Ce caractère inductif implique une itération de cette phase de codage : certains concepts et relations se révèlent importants au fur et à mesure du codage. Dans notre travail, deux lectures complètes ont été réalisées.

Le sens des relations – Pour des raisons techniques, une relation est orientée et son codage se réalise d'un concept *source* vers un concept *puits*. Dans la plupart des cas, cette orientation (direction ou sens) se conforme à une logique cartésienne : influence, flux, *etc.* Trouver un sens à une relation peut s'avérer plus complexe dans certains cas : (i) lorsqu'une certaine circularité, ou retroaction, caractérise une relation entre deux concepts, s'influencent mutuellement ou (ii) lorsque les concepts sont mis en relation sans hiérarchie (temporelle, influence ou autre). Il convient, dans ces cas, de garder simplement une même logique durant le codage de l'ensemble des entretiens. Dans le cadre de notre travail, les questions autour des directions des relations sont apparues *a priori*, en cours de développement des processus de codage de la méthode. *A posteriori*, elles apparaissent insignifiantes pour les finalités descriptives (section 5.2 et chapitre 7) et comparatives de la méthode (section 5.3 et chapitre 8).

La sortie – La sortie de la phase de codage inductif est une base de données dont les champs d'intérêt pour la suite de la méthode sont les suivants :

- l'agent,
- les relations entre les concepts,
- les sections des interviews, *i.e.* les verbatims, liées à chaque relation.

Le logiciel RQDA, développé par Huang (2010) a été utilisé dans le cadre de notre travail (voir encadré 5.a, p.92). Il produit une base de données au format

SQLite⁴. Plusieurs moyens sont à disposition pour interroger ce type de base de données relationnelles et en consulter les données : des interfaces WEB (SQLite Manager), des interpréteurs de ligne de commande (SQLite) mais également différentes fonctions liées au langage de traitement de données R (R Development Core Team, 2009). Ce sont ces dernières fonctions qui ont été utilisées pour le développement des étapes ultérieures de la méthode. Par rapport aux autres techniques, elles possèdent certains avantages :

- elles permettent d’extraire de manière automatique l’information codée,
- elles permettent de structurer les données extraites pour les traitements ultérieurs. Ces deux premières étapes sont caractéristiques des programmes écrits en ligne de commande,
- enfin, ces fonctions sont directement intégrées au programme R, qui est, par ailleurs, utilisé pour traiter quantitativement certaines données, pour réaliser certains tests statistiques sur celles-ci ou pour les représenter graphiquement.

Les listes de concepts et de relations utilisées pour le codage des entretiens sont deux exemples d’informations qui peuvent être extraites de la base de

-
4. La phase de codage du matériau génère une base de données au format SQLite, un langage informatique dérivé du très répandu langage SQL (Structured Query Language). Ils permettent chacun de créer, de manipuler et d’interroger des bases de données. Seule une partie des tables et des champs de la base de données générée présente un intérêt pour notre méthode. Il s’agit
- (A) de la table *source* dont chacun des enregistrements constitue un fichier d’entretien. Dans cette table,
 - (a) le champ *name* contient le nom du fichier,
 - (b) le champ *id* un identifiant propre à chaque fichier,
 - (c) et le champ *file* l’ensemble du fichier texte.
 - (B) de la table *freecode* dont chacun des enregistrements constitue un code. Dans cette table,
 - (a) le champ *name* contient le nom attribué au code,
 - (b) et le champ *id* un identifiant propre à chaque code.
 - (C) de la table *coding* dont chacun des enregistrements constitue un extrait de fichier auquel a été attribué un code. Il peut être utile de préciser qu’un même extrait se retrouve dans autant d’enregistrements que de codes qui lui sont attribués. Dans cette table,
 - (a) le champ *cid* contient l’identifiant du code imputé à l’extrait de fichier (champ *id* de la table *freecode*),
 - (b) le champ *fid* contient l’identifiant du fichier dont est issu l’extrait codé (champ *id* de la table *source*), et
 - (c) le champ *seltext* contient l’extrait de texte *in extenso*.

Encadré 5.a – Le codage – détails techniques sur le logiciel utilisé

De nombreux logiciels qui permettent le codage de données d'entretien coexistent et sont dénommés *Computer-Assisted Qualitative Data Analysis Software* ou CAQDAS (e.g. Atlasti, Cassandre, Catma, Ethnograph, Kwalitan, Maxqda, Mosaïqs, Nodepad, Nvivo, Porphyry, Rqda, Squanto, Tamsanalyser, Weft-qda, Wordstat, vus sur www.squash.ulg.ac.be, ou encore AnSWR ou Nudist). Pour ce travail, notre choix s'est tourné vers le logiciel RQDA (Huang, 2010), pour les raisons suivantes :

- il se présente sous la forme d'un *package* intégré au logiciel R (R Development Core Team, 2009), programme de référence pour l'analyse statistique que nous utilisons par ailleurs pour le traitement et l'analyse des données quantitatives ainsi que pour la représentation des résultats,
- il est gratuit et ses sources sont ouvertes (*opensource*),
- il était récent au début de l'entreprise de cette thèse et était activement développé (première version : mai 2008 à Version 0.1.8 du 20 septembre 2009, *Nota bene* – le projet semble actuellement maintenu a minima).
- il génère une base de données au format SQLite, dérivé du très répandu SQL, consultable par différents programmes (voir section suivante).

Succinctement, le codage du matériau à l'aide de RQDA implique la réalisation des opérations suivantes :

1. importer les *sources*, les fichiers de texte brut qui contiennent chacun la transcription des notes d'un entretien qui ne pourront dès lors plus être modifiées,
2. encoder la liste des *codes* pertinents,
3. ouvrir une *source*,
4. parcourir la source, sélectionner un passage de celle-ci et la *marquer* avec un ou plusieurs *codes* adéquats.
5. répéter l'opération 4 jusqu'à la fin des notes d'entretien,
6. répéter les opérations 3 à 5 précédentes pour l'ensemble des autres *sources*.

📄 **Exemple 5.2** – Liste des concepts

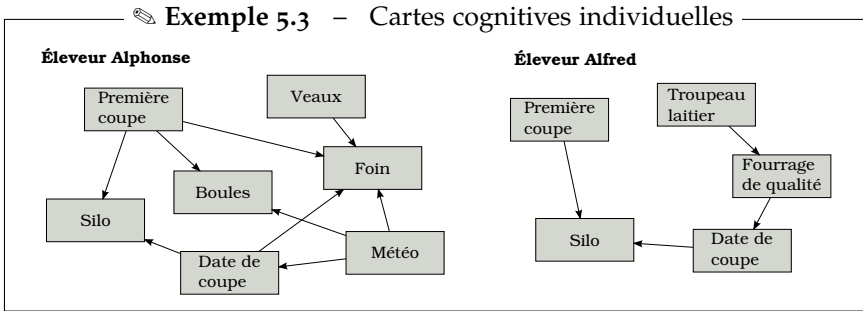
1. Première coupe
2. Silo
3. Enrubanné
4. Foin
5. Météo
6. Veaux
7. Date de coupe
8. Troupeau laitier
9. Fourrage de qualité

données. L'extraction automatique des relations est à la base de la génération des Cartes Cognitives Individuelles et est décrite à la section suivante (section 5.1.3). La liste des concepts identifiés dans les deux passages fictifs de l'exemple 5.1 est illustrée à l'exemple 5.2.

5.1.3 La génération des Cartes Cognitives Individuelles (Étape 3)

Les relations identifiées, codées et emmagasinées dans la base de données décrite à la section précédente (5.1.2, point b) sont extraites automatiquement pour chacun des agents de l'échantillon. La série de relations évoquées par un agent pour décrire son propre système de pratiques est ensuite utilisée comme modèle de ce système de pratiques. Pour modéliser un ensemble de concepts mis en relation les uns avec les autres sur base des représentations et des conceptions des individus, nous avons utilisé les méthodes issues du *Fuzzy Cognitive Mapping* (voir la théorie à la section 4). Les représentations mathématique et graphique du système de pratiques de l'agent – respectivement une matrice & un réseau de concepts en relations – sont les expressions de sa Carte Cognitive Individuelle (ICM). Les ICMs issues du codage des deux entretiens fictifs de l'exemple 5.1 sont illustrées à l'exemple 5.3.

Les représentations graphiques des ICM sont réalisées à l'aide du paquet RgraphViz (Gentry *et al.*, 2010) lié à R (R Development Core Team, 2009).




Il utilise un algorithme multidimensionnel pour minimiser les croisements entre les arcs (*i.e.* les traits des relations entre les concepts) développé par Kamada & Kawai (1989).

Au stade de développement actuel de la méthode, les relations identifiées ont toutes été pondérées à l'unité, qu'elles soient faibles ou fortes, positives⁵ ou négatives⁶. Mathématiquement, l'ICM correspond à une matrice Booléenne carrée de $n \times n$, où n est le nombre de concepts identifiés dans l'entretien de l'agent. Cette matrice d'adjacence (Harari et al., 1965 dans Özesmi & Özesmi, 2004) reprend l'ensemble des relations codées dans l'entretien. Chaque relation identifiée a_{ij} entre les concepts i et j est codée 1, soit TRUE en langage Booléen. Une matrice d'adjacence (E) est exprimée en termes mathématiques génériques à l'équation 5.1. Les deux matrices d'adjacence liées à l'exemple d'entretien codé ci-dessus (exemple 5.1) sont illustrées à l'exemple 5.4 (équations 5.2 et 5.3). Eu égard à la méthode développée pour l'identification et le codage des relations d'une ICM, chacune d'elles fait référence à une ou plusieurs séquences d'entretien d'un agent.

$$E = \begin{pmatrix} e_{11} & \dots & e_{1j} & \dots & e_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_{i1} & & e_{ij} & & e_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_{n1} & \dots & e_{nj} & \dots & e_{nn} \end{pmatrix} \quad (5.1)$$

5. plus de A \rightarrow plus de B et moins de A \rightarrow moins de B
 6. plus de A \rightarrow moins de B et moins de A \rightarrow plus de B

 **Exemple 5.4** – Matrices d’adjacence (cartes individuelles)

Les numéros des lignes et des colonnes correspondent aux codes des concepts repris dans la liste de l’exemple 5.2.

Éleveur Alphonse

$$E_{Alphonse} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (5.2)$$


Éleveur Alfred

$$E_{Alfred} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (5.3)$$

Cette étape génère une collection d’ICMs, une pour chaque entretien réalisé et codé. Ces ICMs peuvent être décrites et analysées en l’état (voir section 5.3). Elles peuvent également être arithmétiquement additionnées et engendrer une ou plusieurs Cartes Cognitives Sociales (SCMs).

5.1.4 La génération des Cartes Cognitives Sociales (Étape 4)

Dans les approches du Fuzzy Cognitive Mapping, les ICMs peuvent être à la base de la génération de Cartes Cognitives Sociales (SCMs). La formulation

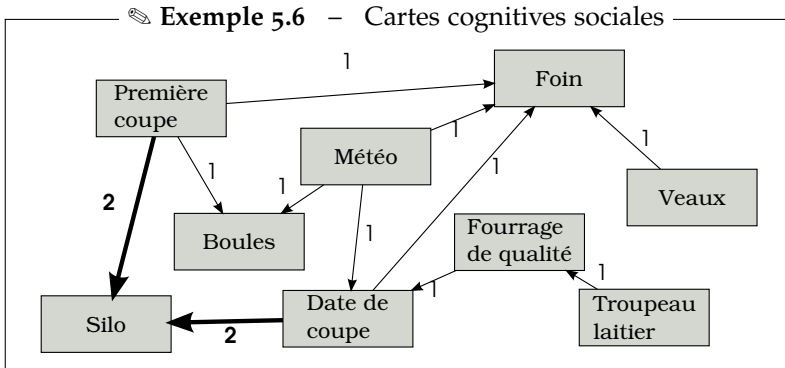
 **Exemple 5.5** – Matrice d'adjacence (carte sociale)

$$\begin{aligned}
 E_{\text{sociale}} &= E_{\text{Alphonse}} + E_{\text{Alfred}} \\
 &= \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \end{matrix} & \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{matrix} \quad (5.4)
 \end{aligned}$$

mathématique d'une SCM, une matrice d'adjacence, est le résultat de l'addition arithmétique des matrices d'adjacence des ICMs qui la composent. Les éléments de la matrice ainsi obtenue ont donc un caractère quantitatif discret : la valeur de l'élément e_{ij} est le *poids* de la relation du concept i au concept j et peut être supérieure à l'unité. Dans notre étude, le poids d'une relation est donc le nombre d'entretiens dans lesquels cette relation a été codée au moins une fois. L'exemple 5.5 montre la matrice d'adjacence composée de la somme des deux matrices de l'exemple 5.4. La matrice d'adjacence de la SCM est utilisée pour générer la formulation graphique de la SCM. Celle-ci illustre la manière dont un groupe d'individus conçoit, décrit son système de pratiques. Eu égard à la méthode développée pour l'identification et le codage des relations d'une SCM, chacune de celles-ci fait référence à une ou plusieurs séquences d'entretien d'un ou de plusieurs agent(s). La SCM correspondante à la matrice d'adjacence de l'exemple 5.5 est illustrée à l'exemple 5.6.

Les cartes cognitives peuvent paraître, *a priori*, d'aspect complexe. Cependant, différents outils ont été utilisés ou développés dans le cadre de notre méthode afin de les décrire et d'en analyser le contenu et la structure. Ces outils sont présentés aux deux sections suivantes.

Notre développement méthodologique intègre différents outils pour la description et l'analyse des ICMs et des SCMs. Les formulations graphiques,



certains indicateurs de la théorie des graphes et l'extraction des séquences d'entretien liées à des relations d'intérêt sont à la base de la finalité descriptive et inductive de la méthode (section 5.2, p. 97). Les indicateurs quantitatifs de la théorie des graphes peuvent être couplés (i) à des tests statistiques dans le but de comparer les SCMs de groupes d'individus distincts et (ii) à des méthodes de clustering pour distinguer les agents sur base de leurs systèmes de pratiques (section 5.3, p. 99).

5.2 Le développement des aspects descriptifs de la méthode : vers l'exploitation de son caractère inductif

Trois voies sont empruntées pour décrire les ICMs et les SCMs générées : (i) une voie semi-quantitative, l'analyse graphique ; (ii) une voie quantitative, l'analyse mathématique ; et (iii) une voie qualitative, l'analyse des entretiens. Ces étapes sont décrites ci-dessous. Elles sont illustrées dans les résultats de notre premier article (section 7.3.2).

5.2.1 Analyse graphique

L'analyse de la formulation graphique des cartes cognitives permet d'appréhender la structure globale du système de pratiques étudié, qu'il soit à un niveau individuel (ICM) ou collectif (SCM). L'intérêt réside, notamment, dans la mise en évidence des concepts les plus centraux et de la manière dont ils sont liés les uns aux autres.

5.2.2 Analyse mathématique

L'évaluation de différents indicateurs de la théorie des graphes est réalisée en appui à l'analyse graphique. Les indicateurs principaux sont d'une part le *poids* des relations et d'autre part l'*outdegree*, l'*indegree* et la *centralité* des concepts. Ce que nous entendons par poids des relations a été évoqué à la section 5.1.3 et défini à la section 5.1.4. Au niveau des concepts, l'*outdegree* d'un concept est la somme des poids des relations quittant celui-ci, son *indegree* est la somme des poids des relations le rejoignant. La centralité d'un concept est la somme du poids des relations quittant et rejoignant ce concept. Une batterie d'autres indicateurs structurels de la carte cognitive globale a été définie par la théorie des graphes (annexe D, pour information).

5.2.3 Analyse des entretiens

Dans la méthode telle qu'elle a été développée, le lien entre le matériau de base, *i.e.* les entretiens des agents, et les relations des cartes cognitives est maintenu à travers l'ensemble des étapes. Cette propriété permet la consultation des sections d'entretiens liées à certaines relations d'intérêt pour le domaine de recherche exploré. Ces relations peuvent être liées à des concepts centraux ou plus particuliers. Cette fonctionnalité est intéressante pour l'analyse et l'interprétation des cartes cognitives. Elle aide notamment à la compréhension de la complexité qui fonde certaines relations. Elle permet également l'appréciation de la diversité qui caractérise le sens de certaines relations.

À côté de ces aspects descriptifs, notre méthode poursuit également une finalité analytique. Les cartes cognitives sont alors utilisées pour comparer et classer les agents sur base de leurs systèmes de pratiques. Cette finalité de la méthode est présentée à la section 5.3.

5.3 Le développement des aspects analytiques de la méthode : vers une finalité comparative et typologique

L'introduction de certains aspects analytiques dans la méthode a ouvert la voie à une deuxième famille de finalités des ICM et des SCM. Ces développements se fondent sur la comparaison de systèmes de pratiques entre divers groupes d'individus. Les comparaisons se basent elles-mêmes sur des indicateurs issus de la théorie des graphes et qui s'appliquent aux différents éléments d'une carte cognitive : concepts (*nœuds*), relations (*liens*) ou structure globale de la carte (*graphes*). Les indicateurs utilisés sont décrits à l'annexe D.

Le constat qui sous-tend la démarche analytique présentée ici est la présence d'une diversité de systèmes de pratiques dans les systèmes socio-écologiques. Pour caractériser cette diversité, nous avons (i) classé⁷ les individus sur base de critères typologiques préalablement définis et (ii) comparer leurs systèmes de pratiques. Dans une étape ultérieure, nous avons classifié⁸ les agents *a posteriori*, sur base de leurs systèmes de pratiques. Cette deuxième proposition assigne à la phase analytique un caractère inductif.

Dans la séquence des étapes de la méthode présentée à la section 5.1 et à la figure 5.1, les développements présentés ci-après impliquent l'intégration de deux nouvelles opérations. Le *partitionnement* des ICMs, réalisé entre les phases 3 et 4 du cœur de la méthode, est dès lors numéroté 3'. L'étape 4, qui génère une SCM, est appliquée à chacun des partitions. Les SCMs des partitions sont comparées entre elles durant l'*analyse comparative*, numérotée 5. Ces étapes sont schématisées à la figure 5.2. Le partitionnement peut se réaliser

7. classement ou *classing*

8. utilisant les méthodes statistiques de classification, ou *clustering*

a priori (classement, section 5.3.1) ou *a posteriori* (classification, *clustering*, section 5.3.2). Une démarche dans cette deuxième voie implique le choix d'une méthode de mesure de la similarité entre les éléments et une classification des éléments sur base de cette similarité.

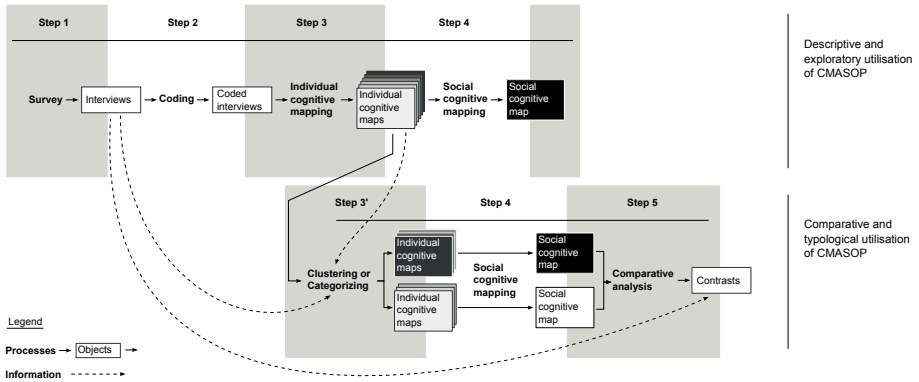


FIGURE 5.2 – Mise en évidence des étapes analytiques de la méthode développée afin de permettre la comparaison et la classification d'ICM : le partitionnement de l'échantillon, la Cartographie Cognitive Sociale et l'Analyse Comparative

5.3.1 Le classement *a priori* (Étape 3')

Le classement *a priori* des agents des systèmes socio-écologiques relève d'une diversité de critères. Ceux-ci peuvent être d'ordre (i) géographique, les agents étant classés suivant les zones écologiques distinctes dans lesquelles ils opèrent, (ii) technique, les agents étant classés suivant certaines caractéristiques structurelles de leur activité (orientation technique, économique, mode de production), ou (iii) institutionnel, les agents, ou parties prenantes⁹ étant classés selon leur rôle dans la gestion du système socio-écologique.

9. ou, terme anglo-saxon communément utilisé, *stakeholders*

5.3.2 La classification *a posteriori* (Étape 3')

La classification des agents, ou leur 'clustering', se base sur les caractéristiques des ICMs obtenues à l'étape 3. C'est à ce titre qu'elle est qualifiée d'*a posteriori*. Les différents indicateurs de la théorie des graphes (voir annexe D) peuvent être utilisés pour évaluer la similarité entre les agents. Les similarités¹⁰ calculés pour l'ensemble des couples d'individus font l'objet d'une matrice de similarité. Cette matrice fait ensuite l'objet d'une *cluster analysis* pour distinguer des groupes d'individus. Une multitude de techniques et de méthodes ont été développées pour calculer les similarités entre objets et en établir une classification (Legendre & Legendre, 1998; Lebart *et al.*, 2006). Les méthodes utilisées pour la classification des ICMs sont présentées dans les deux paragraphes suivants.

a La mesure de la similarité

Comme notre objectif est de classer des objets (*i.e.* les agents) sur base des descripteurs qui les caractérisent (*i.e.* les indicateurs de leurs ICMs) nous nous intéressons uniquement aux analyses en 'mode Q' (Legendre & Legendre, 1998)¹¹. Une profusion de critères peut être utilisée pour évaluer la similarité entre les agents. Dans le cadre des développements méthodologiques que nous proposons, nous en avons testés deux¹² :

1. la présence/absence de relation(s) dans les ICMs
2. la présence/absence de concept(s) dans les ICMs

Le premier critère, basée sur les relations des cartes, est proposé comme critère principal dans le cadre de la méthode développée. Il n'a pas été utilisé dans d'autres travaux ayant eu recours au Fuzzy Cognitive Mapping. Nous avons comme hypothèse qu'il est plus pertinent de distinguer les systèmes

10. ou dissimilarités, ou encore distances

11. Les analyses en 'mode R' permettent, quant à elles, de classer les descripteurs eux-mêmes

12. Une méthode pour la classification des ICMs sur base de leurs caractéristiques structurelles a également été développée et appliquée dans le cadre de notre thèse. Cependant, les résultats n'ont été intégrés ni dans notre article Vanwindekens *et al.* (2014) ni dans ce manuscrit. La méthode est présentée en annexe E.

de pratiques des agents sur cette base car les agents décrivent leurs systèmes au moyen de *relations* dont le codage est à l'origine des Cartes Cognitives (voir chapitre 8 pour plus de détails sur ce point).

Le deuxième critère est issu de travaux scientifiques publiés ayant appliqué les techniques de *clustering* aux Fuzzy Cognitive Maps (FCMs). Ces approches ont été utilisées dans le cadre de notre travail pour comparer les résultats obtenus avec ceux de la méthode que nous proposons. Les premiers travaux sont pionniers dans l'étude des systèmes écologiques à l'aide d'une approche basée sur le Fuzzy Cognitive Mapping (Özesmi & Özesmi, 2004). La méthode originale qu'ils ont développée est basée sur une cartographie inductive avec les agents. La deuxième étude propose une cartographie cognitive des conceptions des exploitants agricoles sur les mesures agri-environnementales basée sur l'analyse des résultats d'une enquête classique (Ortolani *et al.*, 2010). Ces deux études présentent une méthode de comparaison des cartes sur base de la présence/absence de concepts.

Les deux critères utilisés génèrent, pour chaque agent, un tableau de données binaires liées à la présence/absence respectivement des relations ou des concepts dans les cartes. Afin d'évaluer la similarité/dissimilarité entre les individus, un coefficient asymétrique est recherché dans le but de ne pas considérer l'absence de relations dans deux ICMs (*i.e.* le *negative match*) comme une indication de similarité. En effet, notre expérience nous montre que la méthode développée génère un nombre important de relations citées une seule fois, ce qui a pour conséquence de générer un grand nombre de *negative matches*. Parmi les coefficients asymétriques pour l'analyse des données binaires en mode Q, nous proposons d'utiliser celui de Sørensen (Gower & Legendre, 1986) pour l'évaluation des similarités entre les cartes. Sa formule est présentée à l'équation 5.5. La signification des différents paramètres peut se concevoir dans une table de contingence reprenant les observations de présence ou absence de caractère (table 5.1), dans laquelle *a* correspond au nombre de combinaisons 'présence-présence', *b* 'présence-absence', *c* 'absence-présence' et *d* 'absence-absence'. Notons que le paramètre *d*, comptabilisant donc les *negative matches*, n'est pas pris en considération dans l'indice de similarité retenu.

		Objet x_2		
		1	0	
Objet x_1	1	a	b	$a + b$
	0	c	d	$c + d$
		$a + c$	$b + d$	$p = a + b + c + d$

TABLE 5.1 – Paramètres de base pour le calcul des coefficients de similarité binaires. 1 : présence, 0 : absence

$$\frac{2a}{(2a + b + c)} \quad (5.5)$$

b Le ‘clustering’

Admettant qu’une part de subjectivité est inhérente aux pratiques et aux choix humains au sein des systèmes socio-écologiques (Darré *et al.*, 2004), nous émettons l’hypothèse que les limites entre les groupes d’individus différenciés sur base de leur systèmes de pratiques ne sont pas nettes¹³. Nous proposons dès lors d’adopter une technique qui relève de la famille des classifications floues, plus connues sous la dénomination anglo-saxonne de *fuzzy clustering* (Kaufman & Rousseeuw, 1990; Borcard *et al.*, 2011). La technique utilisée pour la classification des logiques de décision des éleveurs, plus particulièrement le *c-means clustering* (Kaufman & Rousseeuw, 1990) est non hiérarchique¹⁴. Le choix de ce type de méthode est cohérent avec le caractère semi-qualitatif de l’ensemble de notre démarche scientifique. Les données d’entrée de ce type de traitement sont des matrices de similarité telles que présentées plus haut dans cette section.

13. Notons que certains chercheurs posent le même constat dans les sciences de la nature, en Écologie par exemple, en ce qui concerne la détermination des espèces, *etc.* (Borcard *et al.*, 2011)

14. C’est à dire qu’à défaut d’aboutir à une hiérarchie entre les individus, souvent graphiquement représentée sous la forme d’arbre phylogénétique qui est ensuite divisé en différentes branches, les méthodes non hiérarchiques aboutissent simplement à l’attribution de classes.

Le *fuzzy c-means clustering* attribue une classe à chaque objet analysé ainsi qu'une série d'indices d'appartenance aux différentes classes qui sont issus de l'analyse. Notons que le nombre de classes finales est posé par l'opérateur. Dans la séquence des étapes de notre méthode, ces classes peuvent être considérées comme une nouvelle typologie des agents basés sur leurs systèmes de pratiques tels qu'ils les conçoivent et tels qu'ils les présentent.

5.3.3 Le Social Mapping (Étape 4)

Dans le cadre de l'utilisation analytique de la méthode présentée dans cette section, le principe du *Social Mapping* est identique à celui décrit à la section 5.1.4, à savoir l'agrégation de cartes cognitives individuelles en une carte sociale et se résume, au niveau opérationnel, à une simple somme arithmétique des matrices d'adjacence. La différence fondamentale réside dans le fait que les cartes sociales qui sont générées ici n'agrègent pas les ICMs de l'ensemble des agents de l'échantillon, mais d'une partie de ceux-ci seulement : un groupe typologique défini *a priori* ou *a posteriori*. Ce processus génère alors autant de SCMs que le critère typologique retenu possède de niveaux (e.g. nombre de régions agro-écologiques, nombre d'orientations techniques, ...). Il va de soi qu'un même échantillon peut être divisé de multiples manières, générant de multiples ensembles de SCMs.

Les différences significatives entre les SCMs issues d'une même partition de l'échantillon sont mises en évidence à l'aide de l'ultime module de cet aspect de la méthode, l'analyse comparative présentée à la section suivante.

5.3.4 L'analyse comparative (Étape 5)

L'analyse comparative est appliquée à un ensemble de cartes cognitives sociales issues d'une partition de l'échantillon. Elle a pour objectif de mettre en évidence leurs différences. Les comparaisons consistent en des tests statistiques réalisés sur les indicateurs des différentes SCMs ou des groupes d'ICMs. Les comparaisons portent sur le *contenu* des cartes, en analysant les

indicateurs attachés aux concepts et aux relations¹⁵. Les trois sous-sections suivantes détaillent les tests réalisés en fonction des critères retenus. Dans notre étude de cas (voir chapitre 6), seules des divisions binaires de l'échantillon ont été réalisées. Les méthodes statistiques succinctement évoquées dans les trois paragraphes suivants sont adaptées pour ces divisions binaires. Si des divisions en un nombre plus grand de classes étaient d'application dans un cas d'étude, la méthode développée permet l'implémentation de tests adéquats. Techniquement, l'ensemble des traitements de données statistiques ont été programmés dans R (R Development Core Team, 2009), tout comme l'ensemble des traitements liés à toutes les parties automatisées de la méthode.

La comparaison des poids des relations Dans notre méthode, les relations qui fondent une ICM ne sont pas pondérées, leurs poids étant dès lors unitaires. Au sein d'une SCM, le poids d'une relation est égale au nombre d'ICMs qui la compose et dans lesquelles cette relation a été identifiée. Une comparaison des poids d'une relation entre deux SCMs s'apparente donc à un test de proportion d'une table de contingence de taille 2×2 , où les groupes d'individus sont en ligne et la présence et l'absence de la relation en colonne. L'indépendance des lignes et des colonnes est testées par un Fisher's Exact Test¹⁶. Le résultat du test est une p -value qui indique si la relation est significativement plus évoquée dans un des deux groupes.

La comparaison des indicateurs de concepts : outdegree, indegree et centralité À la différence du cas précédent, des indicateurs quantitatifs discrets peuvent être calculés pour les concepts déjà au niveau des cartes individuelles. Pour chacun des concepts, les deux partitions comparées peuvent donc être caractérisées par une distribution de valeurs discrètes. La différence entre ces deux distributions est testée par le test non-paramétrique de Mann-Withney (famille des tests des rangs, Dagnelie, 2007)¹⁷.

15. Les cartes peuvent aussi être comparées sur base de leur *structure*, en focalisant sur les indicateurs structurels des cartes elles-mêmes, voir annexes D et E

16. Pour des comparaisons entre trois distributions ou plus, le test de χ^2 est d'application

17. Pour des comparaisons entre trois distributions ou plus, le test de Kruskal-Wallis est d'application

Les sorties du module d'analyse comparative Le module d'analyse comparative permet de mettre en évidence les éléments structurels des cartes, à savoir relations et concepts, dont les valeurs sont significativement différentes entre les groupes comparés. Ces éléments mis en lumière, ils offrent une porte d'entrée pour une compréhension plus fine de ces observations par la mobilisation des outils d'analyses descriptives, qualitatifs et mathématiques, décrits à la section 5.2. Ces outils sont, notamment :

- l'analyse des *valeurs* des indicateurs dans un groupe et dans l'autre : tel groupe mettent plus en avant l'élément X, tel autre groupe l'élément Y ;
- l'analyse du *type d'éléments*¹⁸ mis en évidence : les éléments appartenant tous à un domaine technique particulier du système (certaines opérations, certains travaux, certains ateliers), ou étant de nature similaire (nature économique, sociale, etc.) ;
- l'analyse des verbatims des agents qui sont à la base des relations et des concepts mis en évidence.

5.4 Proposition de critères de qualité pour évaluer la véracité de l'approche

5.4.1 Les critères de qualité dans les démarches de recherche quantitatives

Dans les sciences de la nature, dans les sciences de l'ingénieur et, de manière générale, dans l'ensemble des sciences dont les méthodes de recherche sont quantitatives, les critères communément admis dans le paradigme positiviste pour évaluer la qualité d'une démarche scientifique sont la *validité* et la *fiabilité* dans une recherche d'*objectivité* (Guba, 1981; Krefting, 1991; Shenton, 2004).

La *validité* peut être subdivisée en deux composantes :

- la *validité interne* rend compte de l'adéquation entre ce qui est mesuré par la méthode en réalité et ce qu'elle vise effectivement à mesurer en théorie ;

18. Rappel, un élément est un concept ou une relation.

- la *validité externe* rend compte de la possibilité offerte par la théorie de généraliser les résultats, de les appliquer à d'autres situations, à d'autres contextes.

La *fiabilité* rend compte, quand à elle, de la similitude entre les résultats issus de différentes répétitions d'une même expérience dans les mêmes conditions, le même contexte, avec les mêmes méthodes et, en sciences humaines, avec les mêmes intervenants.

L'*objectivité* rend compte de l'indépendance entre, d'une part, les méthodes et les instruments de mesures utilisés et, d'autre part, les compétences et les perceptions des opérateurs.

Les positivistes logiques sont réalistes et croient donc en l'existence d'une vérité dans l'absolu. Il relativise cependant la capacité de l'atteindre et ont émis des critères particuliers de validité de la connaissance : vérifiabilité, confirmabilité, réfutabilité. Le principe fondateur est de contrôler la connaissance produite à une réalité extérieure (Girod-Séville & Perret, 2002). L'évaluation de ces critères découle d'une conception de la vérité qui est une vérité-correspondance. Pour les positivistes logiques, un énoncé que l'on ne peut confronter à la réalité, comme un énoncé religieux, esthétique, psychanalytique, n'a pas de sens (Girod-Séville & Perret, 2002).

5.4.2 Les critères de qualité dans les démarches de recherche qualitatives

De par leur nature, les démarches de recherche qualitatives, communément adoptées en sciences humaines, peinent à répondre aux critères de validité et de fiabilité tels que définis ci-dessus. À ce titre, la qualité de ces démarches est mise en question par les scientifiques positivistes. Face à ces critiques, certains auteurs ont tout de même tenté de soumettre leurs démarches qualitatives aux mêmes critères que ceux en application pour les démarches quantitatives (Silverman, 2001, Pitts, 1994 in Shenton, 2004). D'autres affirment, au contraire, qu'il est vain de tenter de traduire les mêmes critères dans des

paradigmes différents qui s'opposent tant au niveau ontologique qu'épistémologique (positivisme, constructivisme) (Shenton, 2004).

Lincoln & Guba (1985) ont établi une liste de quatre critères majeurs pour évaluer la véracité (*trustworthiness*) d'une démarche de recherche qualitative. Ainsi, à quatre aspects fondamentaux de la véracité de toute théorie, pertinents pour les démarches qualitatives et quantitatives, ils font correspondre quatre concepts opératoires (Krefting, 1991). Les quatre aspects fondamentaux sont la valeur de la vérité, l'applicabilité, la cohérence et la neutralité. Les quatre concepts qui s'y rapportent sont la *crédibilité*, la *transférabilité*, la *fiabilité* (*dependability*) et la *confirmabilité* (Guba, 1981; Lincoln & Guba, 1985; Krefting, 1991; Shenton, 2004).

Ces quatre concepts sont proposés comme critères de qualité dans le cadre d'une démarche qualitative et font échos aux quatre critères de qualité définis par les positivistes dans le cadre d'une démarche quantitative (Guba, 1981). Ces éléments sont mis en parallèle à la table 5.2 et sont présentés en détails dans les paragraphes suivants.

a La crédibilité comme critère de valeur de vérité

La *crédibilité* rend compte de l'adéquation entre, d'une part, l'analyse et l'interprétation des résultats et, d'autre part, la réalité. De multiples stratégies, approches et éléments édifient la crédibilité d'une étude (Guba, 1981; Shenton, 2004). Retenons :

- l'engagement prolongé du chercheur sur le terrain pour permettre une compréhension de la culture, des contraintes et des phénomènes étudiés,
- la *triangulation*, soit la multiplication des sources d'informations pour croiser les informations,
- l'exposition et la discussion des méthodes et résultats avec des pairs,
- la discussion des résultats avec les participants de l'étude,
- la mise en réserve d'une partie des données pour les utiliser ultérieurement dans un processus de validation.

b La transférabilité comme critère d'applicabilité

Chaque démarche de recherche qualitative est fortement ancrée dans un contexte particulier et les résultats qu'elle génère y sont également fortement liés. Ce constat limite fortement les possibilités d'extrapoler les résultats d'une étude à d'autres contextes. Pour évaluer concrètement cette *transférabilité*, une approche consiste en une description complète, précise et détaillée (*thick description*) du contexte dans lequel l'étude a été menée et des résultats qu'elle a générés.

c La fiabilité (*dependability*¹⁹) comme critère de consistance

Comme dans les approches quantitatives, les scientifiques utilisant une démarche qualitative s'intéressent à la stabilité de leurs données. Mais, alors que les approches quantitatives s'appuient sur le contrôle des conditions de l'expérience pour réaliser des répétitions identiques, les approches qualitatives valorisent l'observation de la situation humaine dont elles admettent le caractère unique. Ce caractère unique de la situation induit une variabilité dans les données. La *fiabilité* de la démarche qualitative au sens de Guba (1981) implique l'identification des causes de cette variabilité : les réalités des informant(e)s peuvent évoluer, les informant(e)s peuvent se fatiguer ou le chercheur peut avoir acquis une connaissance plus profonde du phénomène. La fiabilité peut faire l'objet d'une évaluation par les paires (*audit trail*) et nécessite donc une description détaillée et précise des phases de la recherche tant au niveau stratégique (*research design* et implémentation), qu'opérationnel (récolte des données sur le terrain) et d'une évaluation réflexive sur la démarche d'enquête réalisée (Mathijs, communication personnelle ; Shenton, 2004). D'autres stratégies sont également proposées pour évaluer la fiabilité, à savoir :

- l'utilisation de méthodes qui se chevauchent (*overlap methods*) ;

19. *Dependability* pourrait se traduire par *sécurité de fonctionnement* pour proposer un terme différent de celui employé dans le cadre des méthodes quantitatives, mais nous utiliserons *fiabilité*.

- la réplication des procédures (*stepwise replication*) entre des équipes distinctes mais qui communiquent entre elles aux différentes étapes (récolte, analyse, interprétation).

d La confirmabilité comme critère de neutralité

La *confirmabilité* rend compte de l'ancrage des résultats et des découvertes de la recherche dans les résultats (i) de l'expérience et (ii) des idées des informant(e)s, plutôt que dans les conceptions et les préférences du chercheur. Par nature, l'interprétation des données qualitatives collectées est sujette à la subjectivité du chercheur qui les analyse en adoptant un prisme personnel. Dans la perspective de Lincoln & Guba (1985), au lieu d'exiger l'objectivité du chercheur, il y a lieu de rechercher la neutralité, la confirmabilité des données. Pour ce faire, deux stratégies sont proposées :

- la présentation explicite du prisme personnel adopté par le chercheur, couplée à l'élaboration d'une réflexion constante sur la démarche de sa proche recherche ;
- la triangulation, comme dans la recherche de la crédibilité.

TABLE 5.2 – Traduction des quatre aspects fondamentaux de la véricité d'une théorie en critères de qualité dans les paradigmes positiviste (quantitatif) et constructiviste (*Naturalistic*, qualitatif) (Guba, 1981)

Aspect	Critère quantitatif	Critère qualitatif
Valeur de la vérité	Validité interne	Crédibilité
Applicabilité	Validité externe	Transférabilité
Cohérence	Fiabilité (<i>reliability</i>)	Fiabilité (<i>dependability</i>)
Neutralité	Objectivité	Confirmabilité

On peut également souligner l'apport du courant pragmatiste dans l'établissement des critères de qualité des démarches qualitatives. Nous avons présenté dans la synthèse épistémologique (voir chapitre 3) que, selon une conception pragmatiste de la réalité, la vérité ou le caractère valide d'une

connaissance, peut se définir par ce qui est utile, efficace, pratique et opératoire dans une situation donnée. Elle se définit donc sous l'angle du principe d'*adéquation*, alors que les positivistes s'appuient, comme décrit à la section 5.4.1, sur le principe de *correspondance*. Entre ces deux courants, c'est la distinction fondamentale entre vérité et justification qui est mise au jour. Pour le pragmatiste relativiste Rorty, toute démarche scientifique est essentiellement une démarche de justification (Girod-Séville & Perret, 2002). Il précise que

'le but de l'enquête scientifique, ou de toute autre enquête, n'est pas la vérité mais plutôt une meilleure aptitude à la justification, une meilleure aptitude à traiter les doutes qui entourent ce que nous disons, soit en étayant ce que nous avons déjà dit, soit en décidant au contraire de dire quelque chose de légèrement différent. Le problème, avec la vérité, c'est que nous ne saurions pas que nous l'avons atteinte même si, en fait, nous l'avions déjà atteinte. Mais nous pouvons viser à une justification sans cesse accrue, au soulagement d'un nombre croissant de nos doutes.' (Rorty, 1995, p.117)

5.4.3 Application des critères de qualité à notre démarche de recherche

Les critères de qualité d'application pour les démarches de recherche qualitatives seront utilisés dans la discussion générale pour évaluer l'approche développée.

Conclusion

NOTRE MÉTHODE vise à modéliser les systèmes de pratiques sur base du discours des agriculteurs, et donc en intégrant la conception qu'ils ont de leurs propres systèmes. La première application, descriptive, vise la représentation et la compréhension de la complexité des systèmes de pratiques. Couplées à des méthodes statistiques et de classification, notre méthode est comparative et a pour but de rendre compte et d'explorer la diversité de ces systèmes de pratiques au sein d'une région définie.

Notre méthode a été appliquée à l'étude des systèmes d'élevage bovin dans deux régions herbagères du Sud de la Belgique : l'Ardenne et la Famenne. L'application de la méthode est présentée dans la troisième partie de la thèse. L'étude de cas est présentée au chapitre 6. Les résultats de l'application sont présentés sous la forme de deux publications (chapitres 7 et 8). Deux applications complémentaires, pour évaluer respectivement les capacités d'adaptation des agents et la résilience des exploitations, font l'objet des perspectives du chapitre 10 et de l'approche exploratoire présentée à l'annexe F.

TROISIÈME PARTIE

*

APPLICATION À LA GESTION
DES PRAIRIES EN ARDENNE
ET EN FAMENNE

CHAPITRE 6

L'ÉTUDE DE CAS : LA GESTION DES PRAIRIES EN ARDENNE ET EN FAMENNE

RÉSUMÉ

LA MÉTHODE DÉVELOPPÉE a été présentée d'une manière générique au chapitre précédent (chapitre 5). Elle y est décrite comme une méthode pouvant s'appliquer à l'étude des *systèmes de pratiques* dans les *systèmes socio-écologiques*, et cela quels que soient

- le type d'opération technique visée par les pratiques ,
- le type d'agent qui les réalise,
- le type de système socio-écologique dans lequel les agents évoluent.

Notre méthode a été appliquée à la gestion des prairies dans les systèmes d'élevage bovin (lait et viande) en Ardenne et en Famenne. Dans ce contexte, nous avons focalisé notre recherche sur les ateliers liés à l'élevage bovin, à la gestion des prés de fauches et des pâtures, à la production et la conservation des fourrages et à l'affouragement du bétail.

Ce chapitre introduit la partie empirique de la thèse. Il précise certains éléments conceptuels et méthodologiques dans leur application à notre étude de cas. Il est subdivisé en quatre sections. La première section est une présentation de la zone d'étude, du cadre conceptuel de l'étude de cas et contient des précisions au sujet de la terminologie spécifiquement employée pour décrire les systèmes herbagers. Les deuxième et troisième sections présentent la description détaillée, respectivement, de la structure et du fonctionnement des exploitations d'élevage dans la zone d'étude. Enfin, la dernière section décrit l'application de l'approche développée à notre étude de cas. Les résultats de cette application sont présentés dans les articles des chapitres 7 et 8.

SOMMAIRE

6.1	Présentation générale	117
6.1.1	La zone d'étude	117
6.1.2	Cadre conceptuel et grille d'entretien	118
6.1.3	Concepts, définitions et terminologie	120
6.2	Description du fonctionnement des exploitations	122
6.2.1	La conduite du troupeau	123
a	La gestion de la production	123
b	La gestion de la reproduction	124
c	La gestion de l'alimentation	125
6.2.2	La gestions des parcelles	126
6.2.3	Assolement et production	126
a	Les gestions des fauches et des récoltes de fourrages	127
b	La gestion du pâturage	128
c	La gestion de la fertilité des prairies	129
6.3	Description de la structure des exploitations	130
6.3.1	Orientations techniques	130
6.3.2	Unité de main-d'œuvre	131
6.3.3	Cheptel	131
a	Exploitations viandeuses	131
b	Exploitations mixtes	132
c	Exploitations laitières	132
6.3.4	Superficies	132
a	Superficie agricole utile (SAU)	132
b	Surface non fourragère	133
c	Surface enherbée et cultures fourragères	133
6.3.5	Le chargement à l'hectare	134
6.4	L'application de la méthode	134
6.4.1	La récolte des données, l'enquête (Étape 1)	134
6.4.2	Le codage du matériel	135
6.4.3	La génération des Cartes Cognitives Individuelles	135
6.4.4	Le partitionnement de l'échantillon	136
a	Le classement <i>a priori</i>	136
b	La classification <i>a posteriori</i>	136
6.4.5	La génération des Cartes Cognitives Sociales	137
6.4.6	L'analyse comparative	137

6.1 Présentation générale de l'étude de cas

6.1.1 La zone d'étude

La zone étude a été restreinte à huit communes appartenant à deux régions agro-écologiques contrastées, la Famenne et l'Ardenne, localisées à la figure 6.1. Les cinq communes ardennaises sont Libramont, Saint-Hubert, Neufchâteau, Libin et Paliseul et les trois communes famennoises sont Beauraing, Rochefort et Houyet.

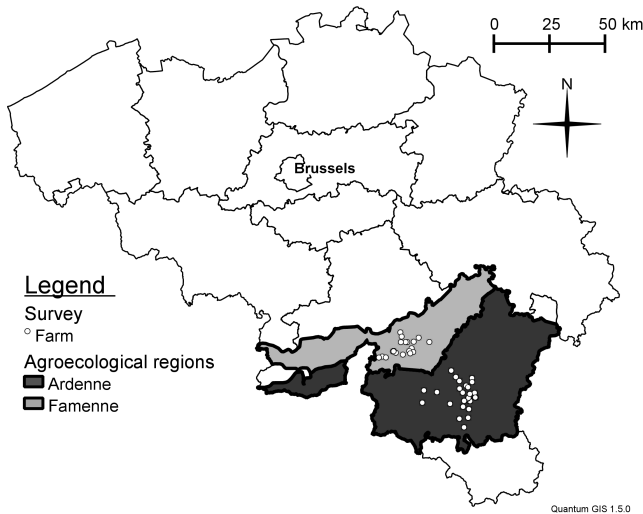


FIGURE 6.1 – Quarante-neuf agriculteurs d'Ardenne et de Famenne ont constitué l'échantillon de notre enquête.

La Famenne et l'Ardenne sont deux régions agro-écologiques du Sud de la Belgique. Bien que le paysage agricole de chacune de ces deux régions soit largement dominé par les prairies, les conditions pédo-climatiques les distinguent fortement. La Famenne est un dépression schisto-argileuse dont l'altitude varie entre 100 et 200 mètres. Le long de sa limite méridionale, elle est parcourue longitudinalement par un affleurement calcaire important, la Calestienne¹. L'Ardenne fait partie du massif schisteux rhénan issu de

1. du néerlandais 'Kalksteen', pierre à chaux.

l'orogénèse hercynienne. L'altitude rencontrée dans sa partie centrale, le haut plateau de l'Ardenne centrale qui a été plus particulièrement étudié dans le cadre de cette thèse, varie entre 400 et 550 mètres.

Le climat Famenien est doux avec une moyenne annuelle des températures de 8,4°C (2,0°C en janvier, 18,2°C en juillet) et les précipitations y sont modérées avec une somme annuelle de 850 mm/an. Le climat Ardennais est à la fois plus froid, avec un moyenne annuelle des températures de 6,7°C (0,5°C en janvier, 17,0°C en juillet), et plus humide avec une somme annuelle de 1240 mm/an (Pameseb, 2011, données des stations de Libramont pour l'Ardenne et de Jemelle pour la Famenne entre 2004 et 2010).

Une des conséquences de ces différences dans les conditions pédo-climatiques est la légère différenciation des systèmes agraires des deux régions agro-écologiques. D'après les données statistiques nationales², les fermes d'Ardenne ont une SAU moyenne de 55 ± 76 ha alors qu'en Famenne elles occupent des SAU moyennes de 66 ± 49 ha. En Ardenne, les prairies occupent une part plus importante de la SAU (92 ± 11 %) par rapport à la Famenne (79 ± 19 %). À l'inverse, la part de la culture de maïs dans la superficie fourragère est plus faible en Ardenne (3 ± 6 %) qu'en Famenne (9 ± 10 %). Le taux de chargement moyen des superficies fourragères est, quant à lui, similaire dans les deux zones avec 2,1 ± 0,8 UGB/ha (INS, 2006).

6.1.2 Le cadre conceptuel et la formulation de la grille d'entretien

Deux éléments ont été à la source de la formulation de la grille d'entretien : notre représentation conceptuelle du fonctionnement général de l'agro-écosystème étudié (détail à l'encadré 6.a) et un document édité par l'Institut [français] de l'Élevage décrivant l'application de l'analyse fonctionnelle pour l'étude des systèmes d'alimentation en élevage (Moulin *et al.*, 2001). La grille d'entretien utilisée fait l'objet de l'annexe A.

2. Direction générale Statistique et Information économique (DGSIE), ex-Institut National de la Statistique (INS)

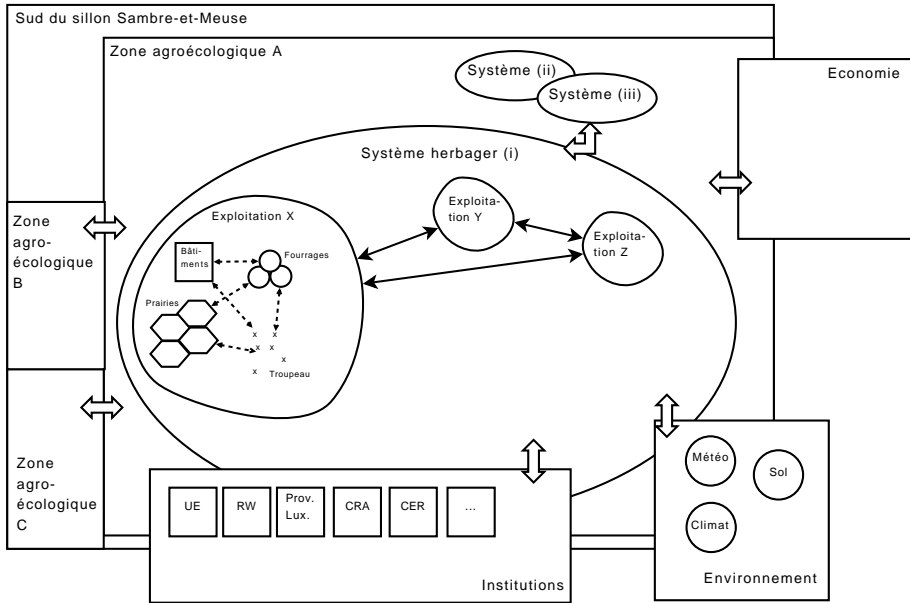


FIGURE 6.2 – Représentation schématique du système d'élevage en zone herbagère

Encadré 6.a – Le cadre conceptuel du système étudié

Le cadre le plus large représente la région herbagère située au sud du sillon Sambre-et-Meuse, divisée en différentes régions agro-écologiques : Condroz, Fagne-Famenne, Ardenne, Lorraine belge, *etc.* dans lesquelles coexistent un ou plusieurs systèmes agraires distincts en inter-relations : systèmes herbagers, systèmes de grandes cultures, ou polyculture élevage, élevage hors-sol, *etc.* Au sein des différents systèmes agricoles, évoluent un ensemble d'exploitations agricoles. Ces exploitations établissent, elles aussi, des relations les unes avec les autres.

Au niveau des exploitations, notre étude se concentre particulièrement au niveau des ateliers liés à l'élevage bovin, à la gestion des prés de fauches et des pâtures, à la production et la conservation des fourrages et à l'affouragement du bétail. Des liens étroits unissent également ces différents éléments et sont représentés sur la figure 6.2.

Les exploitations, les systèmes et les zones agro-écologiques sont influencés par différents facteurs des sphères (i) économique (prix des intrants et des produits, *etc.*), (ii) socio-politique (directives, lois, décrets, centres de recherches, vulgarisateur, *etc.*) et (iii) écologique (conditions climatiques, météorologiques, pédologiques, *etc.*).

6.1.3 Concepts, définitions et terminologie liés à l'étude de cas

Dans le cadre de la description de notre étude de cas, il nous semble important de préciser quelques peu le sens que nous accordons à certains concepts et de définir certains termes qui seront utilisés dans cette section.

Le système d'élevage est un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés par l'homme en vue de valoriser des ressources par l'intermédiaire d'animaux domestiques pour en obtenir des productions variées (lait, viande, cuirs et peaux, travail, fumure, etc.) (Landais, 1987 in de Bonneval, 1993). Aux niveaux internes à l'exploitation, il peut être défini comme *un sous-système du système famille-unité de production agricole, composé d'un système technique et d'un système de décision. Il est lui-même composé de trois sous-système principaux : le système fourrager, le système de conduite du troupeau, le système de valorisation de la production animale* (Gibon, Soulas et Théau, 1988 in de Bonneval, 1993).

Le système d'élevage s'inscrit dans un système de production. Pour la définition de ce dernier, nous nous référerons à la définition de Farming system de

(Pearson & Ison, 1997). Un *farming system* est un ensemble d'activité interconnectées qu'un agriculteur ou une famille agricole pilote en fonction de ses (de leurs) objectifs ou projets, et en fonction des données et contraintes environnementales, évolutives, économiques, techniques et culturelles. Les limites du système de production sont définies par le champ que le pilote est capable de maîtriser. Le Farming system fait partie de systèmes englobants tels que les agrosystèmes³ et la société locale (la collectivité locale). Il peut être divisé en sous-systèmes tels que le système herbager, le système pastoral, le système de culture.

Le système fourrager est un concept qui a été proposé au cours des années 60 pour servir de cadre à l'analyse du système d'alimentation d'un troupeau de ruminants. Son objet est d'assurer la correspondance entre deux fonctions productives d'un système de production de ruminants : la fonction de production végétale fourragère par l'assolement fourrager, et la fonction de production animale par un troupeau (Vignau-Loustau & Huyghe, 2008). Nous définirons système herbager comme un cas particulier du système fourrager, dans lequel la fonction de productions végétales est très largement assurées par des herbages (au-delà de 90 ou 95 %) : pâturage, récolte de foin, etc.

Le système de culture est l'ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Chaque système de culture se définit par

- la nature des cultures et leur ordre de succession ;
- les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, ce qui inclut le choix des variétés pour les cultures retenues.

On pourra trouver sur une même exploitation agricole caractérisée par son système de production un ou plusieurs systèmes de culture (Sebillote, 1982 in de Bonneval, 1993).

Nous considérerons un *fouillage* dans un sens assez large, mot qui désigne des productions végétales issues de surfaces (fourragères) consacrées à l'alimentation des herbivores (de Bonneval, 1993). Vignau-Loustau & Huyghe (2008) distinguent

- les cultures fourragères, subdivisées en
 - racines & tubercules fourragers (betteraves fourragères, choux fourragers, navets fourragers, etc.)

3. Nous aurions utilisé le terme d'agro-écosystèmes

- et fourrages annuels (maïs fourrager et ensilage (plante entière), sorgho-fourrage, colza fourrager, ray-grass d'Italie, etc.)
- les prairies, subdivisées en
 - prairies temporaires (ray-grass d'Italie, graminées en culture pure, mélanges de graminées ou associations graminées-légumineuses, voire de luzerne, trèfle violet, légumineuses ou mélanges de légumineuses)
 - surface toujours en herbe (ou prairies permanentes, semées depuis plus de six ans et surfaces peu productives de types parcours, landes et alpages)

Après ce cadrage terminologique, nous abordons la description générales de la structure et du fonctionnement des exploitations d'élevage au sein des régions pédo-climatiques considérées.

6.2 Description du fonctionnement général des exploitations d'élevage de l'étude de cas

De par les conditions pédo-climatiques qui y règnent, les prairies dominent largement les paysages de Famenne et d'Ardenne. Seules certaines zones, plus fréquentes en Famenne qu'en Ardenne, permettent l'implantation de cultures sarclées ou céréalières. Dans ces deux régions, les orientations techniques adoptées par les exploitations agricoles sont principalement basées sur les productions bovines, viandeuses et/ou laitières. Cette section présente les éléments majeurs qui balisent la conduite de ce type d'exploitation de manière très générale : la conduite des troupeaux, la gestion des parcelles et la constitution des stocks fourragers. La diversité des pratiques rencontrées fait l'objet des sections ultérieures.

6.2.1 La conduite du troupeau

a La gestion de la production

Deux types de productions importantes coexistent : (i) l'élevage de bovins de type laitier, dont le produit est le lait, et (ii) l'élevage de bovins de type viandeux, dont les produits peuvent être soit (a) des animaux engraisés destinés à l'abattoir soit (b) des animaux maigres d'environ 10 mois. Cette dernière orientation est dominante dans les régions étudiées et les veaux sont destinés à l'engraissement au sein d'autres exploitations du pays ou de l'étranger. Dans les exploitations possédant un atelier d'engraissement, les mâles sont vendus autour de 20 mois.

Certaines exploitations possèdent plusieurs productions issues soit de troupeaux différents, ce qui est le plus courant, soit issues d'un même troupeau. Dans ce texte, nous adoptons délibérément le terme viandeux, plus général et mieux adapté aux situations rencontrées que le terme allaitant. Il faut cependant préciser que ce dernier caractérise tout de même certains élevages de Famenne et d'Ardenne où les mères nourrissent leurs veaux.

Dans les systèmes viandeux, la règle générale veut que les veaux femelles (les velles) soient gardées et élevées pour le remplacement des vaches. Celles qui sont en surnombre ou qui ne rencontrent pas les critères de sélection de l'éleveur suivent généralement le même parcours que les mâles de l'exploitation.

Dans les systèmes laitiers, la règle générale veut que les veaux mâles soient vendus à la naissance, c'est-à-dire aussitôt que la législation autorise leur commercialisation (14 jours). Les velles sont, quant à elles, gardées et élevées pour le remplacement des vaches laitières. Celles qui sont en surnombre et celles qui ne conviennent pas sont vendues soit à la naissance, soit après leur premier vêlage.

Après leur carrière productrice, les vaches de réformes sont *remises en état*, engraisées sur l'exploitation et destinées à l'abattoir.

b La gestion de la reproduction

La reproduction, de la fécondation au vêlage, est un volet essentiel de la conduite du troupeau. Elle conditionne fortement les performances technico-économiques des exploitations (Oltenacu *et al.*, 1981).

Fécondation Pour la fécondation, deux choix s'offrent aux éleveurs : la saillie naturelle ou l'insémination artificielle. La saillie naturelle est réalisée par les taureaux reproducteurs de l'exploitation, qui ont souvent été achetés à l'extérieur, c'est-à-dire achetés dans d'autres élevages.

L'insémination artificielle est réalisée par le vétérinaire-inséminateur ou par l'éleveur lui-même. Celle-ci offre à l'éleveur une plus grande flexibilité dans le choix de ses critères de sélection, mais demande une plus grande technicité en ce qui concerne la détection des chaleurs.

Certains exploitants combinent les deux systèmes, en inséminant l'hiver, période où la détection des chaleurs est moins contraignante car les troupeaux sont dans les étables et en les *mettant au taureau* en saison de pâture. Le taureau permet, éventuellement, de *rattraper* les femelles qui ont été inséminées et qui ne sont pas pleines. Certains éleveurs qui pratiquent habituellement l'insémination, préfèrent mettre leurs génisses à *taureau*, également pour des raisons de difficulté de détection des chaleurs.

Gestation et vêlage La gestation des bovins dure 9 mois. La manière dont se passe les vêlages dépend fortement de la race : le vêlage des animaux de race Blanc-bleu Belge culards (porteur du gène récessif mh/mh), qui sont largement dominants dans les exploitations viandeuses des régions d'étude, demandent une césarienne systématique. Les autres races, laitière ou viandeuse, vêlent la plupart du temps de manière naturelle, ce qui impose à l'éleveur un suivi attentif dans les heures qui précèdent la parturition.

Saisonnalité Certains éleveurs choisissent de grouper leurs vêlages durant certaines périodes précises, chez d'autres les vêlages s'étalent tout au long

de l'année. Il est cependant très fréquent d'observer, au sein de chaque exploitation, une période d'un mois ou deux sans vêlage, très souvent durant la saison estivale. Cette saisonnalité peut-être délibérément voulue par l'éleveur ou non.

c La gestion de l'alimentation

Veaux Dans les premiers jours, les veaux sont (i) soit *au pis* nourris par leur mère, (ii) soit nourris au seau par l'éleveur, avec du *bon lait*, prélevé d'un éventuel troupeau laitier, (iii) soit nourris à la poudre de lait.

À l'étable, rapidement, un aliment floconné *premier âge* puis après quelques semaine un *deuxième âge* sont mis à leur disposition. Ils se composent d'aliments concentrés et de tourteaux. Ils ont très généralement du foin et de l'eau à volonté. Les veaux qui naissent en début de saison de pâture et qui sont allaités vont en prairie avec leur mère. Ils peuvent être complétés en prairie. Au-delà de 6 mois, ils peuvent recevoir des aliments *un peu plus rustiques*, l'ensilage d'herbe ou de maïs, pour *qu'ils s'habituent*.

Jeunes bêtes La ration hivernale des génisses et des taurillons s'enrichit petit à petit d'aliments grossiers de type fourrages, essentiellement à base d'ensilage d'herbe et éventuellement de maïs. En fonction des objectifs de production de l'éleveur, les proportions d'aliments concentrés et des tourteaux présents dans les rations varient. Dans les systèmes intensifs, la complémentation en tourteaux permet d'augmenter la croissance pour, par exemple, envisager des vêlages précoces ou accélérer le processus d'engraissement.

Vaches Dans le système viandeux, la ration hivernale des vaches est composée d'aliments grossiers de type fourrages, à base d'ensilage d'herbe et éventuellement de maïs. Des concentrés ou des aliments plus secs (foin) peuvent être introduits dans la ration à des moments particuliers, notamment avant ou après le vêlage.

Dans le système laitier, la ration hivernale des vaches est basée sur les ensilages d'herbe et de maïs et parfois d'autres fourrages tels que des pulpes de betteraves. Cette ration est équilibrée à l'aide d'un tourteau correcteur et est éventuellement complétée par un tourteau de production distribué soit en salle de traite soit au distributeur automatique de concentré (DAC). Les quantités distribuées varient en fonction du niveau de production de chacune des vaches.

6.2.2 La gestions des parcelles

6.2.3 Assolement et production

L'assolement de l'exploitation d'élevage en Ardenne et en Famenne se compose de parcelles sous prairie et de parcelles sous culture.

Les prairies peuvent être soit permanentes, soit temporaires. Les prairies temporaires sont celles qui sont renouvelées à intervalles plus ou moins réguliers (3, 4 ou 5 ans). Les prairies temporaires d'une exploitation peuvent, toutes ou pour partie, rentrer dans la rotation culturale qui est pratiquée. Administrativement, un parcelle qui reste enherbée pour une période de plus de cinq ans est considérée comme une prairie permanente.

Les cultures rencontrées en Ardenne et en Famenne sont essentiellement vouées à l'alimentation du bétail. Ces cultures sont (i) soit des plantes fourragères : surtout du maïs, mais également de la betterave, luzerne, *etc.*(ii) soit des céréales récoltées à maturité : froment, orge, épeautre, avoine, *etc.*

Les récoltes des plantes fourragères sont stockées sur l'exploitation et destinées à l'alimentation du cheptel de celle-ci. Les céréales sont souvent stockées en dehors de l'exploitation, chez un marchand d'aliments. En cours d'année, elles sont alors soit ramenées sur l'exploitation, éventuellement incorporées dans un mélange pour équilibrer la ration des animaux, soit vendues à ce même marchand.

Une partie des parcelles est allouée à la culture de froment dont le produit est systématiquement vendu.

a Les gestions des fauches et des récoltes de fourrages

Les parcelles de prairies temporaires sont préférentiellement allouées à la fauche.

Les dates En Ardenne et en Famenne, les fauches s'étalent essentiellement de mai à septembre. La récolte du maïs pour l'ensilage se pratique de fin septembre à octobre.

La première récolte d'herbe est d'une importance particulière pour les agriculteurs. Les prairies peuvent être fauchées une première fois de manière précoce ou de manière plus tardive. Les fauches précoces se réalisent au stade 'début épiaison' (mi-mai fin mai en Famenne, fin mai-début juin en Ardenne). Elles offrent un fourrage plus riche en énergie et en protéines. Les fauches plus tardives se réalisent au stade 'épiaison', soit 15 jours à 3 semaines après les fauches précoces. Elles offrent la possibilité d'avoir plus de quantité d'un fourrage moins riche.

Une parcelle peut être fauchée de une à quatre fois et l'écart entre les coupes est au minimum de six semaines.

Mode de conservation et de conditionnement Les modes de conservation de la récolte communément rencontrés sont le foin et l'ensilage.

Le foin, issu des récoltes fanées jusqu'à atteindre un taux de matière sèche supérieur à 83 %, est conditionné en ballots de forme cylindrique (*ronde*) ou parallélépipédique (*carrée*), dont les tailles peuvent être multiples. En fonction des conditions météorologiques, le fanage dure entre 4 et 5 jours. Durant cette période, les herbes sont régulièrement retournées afin d'homogénéiser leur fanage.

Les récoltes qui sont ensilées peuvent être conditionnées en silo (couloir, taupinière), ou en ballots enrubannés. En fonction des conditions météorologiques, le *préfanage* s'étale sur deux à trois jours avant l'ensilage. Durant cette période, les herbes sont également retournées.

b La gestion du pâturage

L'allocation des parcelles de prairies permanentes dépend de leur localisation par rapport à l'exploitation, mais sont préférentiellement allouées au pâturage.

La plupart des types d'animaux pâturent au moins une partie de la bonne saison, d'avril à novembre. Les animaux viandeux en phase d'engraissement (essentiellement mâles) ne pâturent pas. C'est également le cas dans certains modes de gestion de troupeaux laitiers à cause d'un manque de disponibilité de surfaces accessibles à proximité de l'exploitation (D. Stilmant, communication personnelle). Dans certains systèmes les plus intensifs, les veaux jusqu'à un an ne vont pas à la prairie et ce dans le but d'assurer leur croissance avec une alimentation enrichie en concentrés.

Les dates En fonction des conditions météorologiques et, surtout, de l'état du sol, les animaux sont *mis à l'herbe* catégorie par catégorie. La mise à l'herbe débute généralement en avril en Famenne et en mai en Ardenne.

Les mêmes critères guident la rentrée des animaux à l'étable qui se passe généralement en novembre, la Toussaint étant une date de référence.

Mouvements des troupeaux Deux grandes catégories de conduite du pâturage sont rencontrées : le pâturage tournant et le pâturage continu.

Le pâturage tournant est pratiqué uniquement par des exploitations possédant un troupeau laitier et sur une partie de la surface agricole. Il consiste à découper une zone en un certain nombre de parcelles, de 5 à 7, de superficie réduite, de 1,5 à 6 ha en fonction de la taille du troupeau. Une parcelle est alors chargée de manière relativement importante pendant un période restreinte, de quelques jours à 3 semaines en fonction de leur état, avant que le troupeau ne soit déplacé sur une nouvelle parcelle.

Le pâturage continu consiste, quant à lui, à charger une parcelle au printemps avec les animaux qui y resteront la majeure partie de la saison de pousse.

Certaines modulations du chargement sont tout de même appliquées au sein de ces surfaces :

- certaines parcelles peuvent être *déchargées* et *chargées* en cours de saison. Cela arrive pour certaines catégories de bêtes, notamment pour les vaches prêtes à vêler qui doivent rentrer à l'étable ou pour celles qui ont vêlé et qui retournent en pâture ;
- certaines parcelles de fauches sont pâturées après une, deux ou trois récoltes. Elles sont souvent situées à côté de parcelles pâturées dès le début de la saison. Quelques semaines après les travaux de récoltes, les enclos sont connectés et les animaux disposent alors d'une superficie supplémentaire. Pour le pâturage des parcelles isolées, des transports d'animaux plus contraignants sont nécessaires ;
- certaines parcelles sont *déchargées* en fin de saison, lorsque la pousse de l'herbe est moindre. Les animaux peuvent alors être placés dans d'autres pâtures où la complémentation est plus aisée, rentrés dans les étables ou vendus.

c La gestion de la fertilité des prairies

Types La fertilisation des prairies est basée sur l'utilisation d'engrais minéraux et/ou organiques.

Les engrais minéraux couramment utilisés en prairie sont soit de type complets dont les formules sont variables, soit de type azotés (e.g. ammonitrate, 27 % d'azote).

L'épandage de chaux est une pratique courante dans ces régions dont les sols présentent très majoritairement un pH acide.

Les engrais organiques utilisés sur l'exploitation dépendent fortement des types de logement des animaux (caillebotis, stabulations libres, entravées,...). Il s'agit essentiellement de fumier, de lisier et de purin. Les fumiers subissent éventuellement une opération de compostage.

Dates Sur les prairies fauchées, les engrais minéraux sont *semés* avant la première coupe, vers avril et éventuellement entre les différentes coupes. Entre février et avril, des engrais organiques peuvent être épandus sur ces types de prairies. Les compost et lisiers sont plutôt réservés aux prairies pâturées.

La fertilisation des parcelles pâturées se réalise également entre février et avril, mais les quantités appliquées sont moindres que dans le cas des prairies de fauches.

Après avoir présenté le fonctionnement des exploitations d'élevage en région herbagère, nous allons caractériser la diversité des structures et du fonctionnement des exploitations de notre échantillon.

6.3 Description de la structures des exploitations de l'étude de cas

Cette partie présente les principales caractéristiques structurelles des exploitations d'élevage rencontrées dans le cadre des entretiens compréhensifs. Cette description est issue des traitements préliminaires des données récoltées lors des phases d'enquêtes. Les statistiques (médianes, moyennes et déviations standards) de différentes variables sont présentées en annexe en fonction de l'orientation technique des exploitations et de la région agroécologique dans laquelle elles se trouvent (annexe C, tables C.1 et C.2). Dans la table C.1, les données collectées sont comparées avec les données du recensement agricole de 2006 (DGSIE, ex-INS).

6.3.1 Orientations techniques

Sur les quarante-neuf agriculteurs rencontrés, vingt-neuf ont orienté leur exploitation vers la production *viandeuse*, quatre vers une production *laitière* et seize vers une production *mixte*. Parmi les quarante-cinq exploitations de type viandeux et mixte, douze possèdent un atelier d'engraissement.

Dans la typologie retenue, l'orientation technique est retenue comme critère discriminant.

6.3.2 Unité de main-d'œuvre

Le nombre d'unités de main d'œuvre actives sur l'exploitation varie de 1 à 4 personnes (médiane = 2).

6.3.3 Cheptel

Dans l'étude des systèmes d'élevage, le nombre de vaches (de mères) représente un indicateur de la taille du troupeau. L'éleveur a pour objectif la production d'un veau par vache et par an : (i) une partie de veaux femelles dont une partie ou la totalité sera gardée pour le remplacement des mères (laitières ou viandeuses) et (ii) une partie de veaux mâles pour l'élevage suivi éventuellement de l'engraissement (viandeux).

a Exploitations viandeuses

Les exploitations viandeuses (n=29) possèdent une moyenne de 120 vaches productrices. Les statistiques de cette variable sont présentées dans les tables C.1 et C.2 de l'annexe C.

L'estimation du nombre d'unité gros bétail (UGB)⁴ du cheptel bovin présent sur ce type d'exploitation s'étend de 60 à 450 UGB. Ce chiffre varie fortement en fonction du nombre de mères et des choix de production : élevage de broutards ou engraissement⁵. Pour réaliser cette estimation, un simulateur de démographie de troupeau a été développé, les variables d'entrées sont

4. Base de calcul : Veau (0,2), Génisses de remplacement (0,5), Taurillons et Génisses de boucherie de moins de 2 ans (0,7), Taureaux et Génisses de plus de deux ans (0,9), Vaches viandeuses (1,02), Vaches laitières (1,38)

5. Il serait pertinent d'introduire dans ce calcul les UGB liés à d'autres spéculations : volailles, ovins, caprins, porcins, etc.

le nombre de mères laitières, le nombre de mères viandeuses, l'âge au premier vêlage (moyenne estimée par l'agriculteur) et l'âge des mâles à la vente (moyenne estimée par l'agriculteur).

b Exploitations mixtes

Les exploitations mixtes (n=16) possèdent une moyenne de 75 ± 55 vaches viandeuses productrices (médiane = 55). Ces exploitations possèdent en moyenne 63 ± 41 vaches laitières (médiane = 55) pour un quota moyen de plus de 400 000±200 000 litres (table C.2 de l'annexe C), soit un niveau de production moyen de plus de 6600 litres/vaches.

L'estimation du nombre d'unité gros bétail (UGB) du cheptel bovin présent sur ce type d'exploitation s'étend de 112 à 480 UGB.

c Exploitations laitières

Les exploitations laitières représentent un petit effectif dans les communes étudiées (5,4 % selon les statistiques de l'INS). Nous avons rencontré seulement 4 agriculteurs purement laitiers qui possèdent entre 68 et 122 vaches productrices pour un quota allant de 450 000 à 945 000 litres. Les paramètres de structure et de fonctionnement de ces quatre exploitations sont présentés à la table C.1 de l'annexe C.

L'estimation du nombre d'unité gros bétail (UGB) du cheptel bovin présent sur ce type d'exploitation s'étend de 122 à 210 UGB.

6.3.4 Superficies

a Superficie agricole utile (SAU)

Les exploitations enquêtées exploitent des SAU qui peuvent atteindre 300 ha. La moyenne et la déviation standard correspondent à 110 ± 48 ha (table C.2 de l'annexe C).

Les exploitations famennoises exploitent des superficies supérieures (120 ± 44 ha) à celles exploitées par les exploitations ardennaises (99 ± 51 ha, table C.2 de l'annexe C).

En ce qui concerne la propriété du foncier, les résultats montrent une grande diversité de situations. En moyenne, les agriculteurs, ou leurs familles, sont propriétaires de 37 ± 28 % des superficies qu'ils exploitent (table C.2 de l'annexe C).

b Surface non fourragère

Par simplification, seule la culture de froment rentre dans la dénomination de culture non fourragère (Stilmant, communication personnelle).

Les surfaces non fourragères représentent moins de 2 % de la SAU au global ($1,6\pm 3,4$ %), elles sont plus développées en Famenne ($3,7\pm 4,5$ %) qu'en Ardenne, où leur implantation est négligeable (table C.2 de l'annexe C).

c Surface enherbée et cultures fourragères

Les surfaces enherbées représentent 85 ± 12 % de la superficie fourragère des exploitations. Elles occupent une place plus importante dans les exploitations ardennaises (89 ± 11 %) que dans les exploitations famennoises (79 ± 11 %, table C.2 de l'annexe C).

La part de la superficie occupée par des cultures fourragères atteint 15 ± 12 % sur l'ensemble de l'échantillon, dont $8,9\pm 9,4$ % rien que pour le maïs. Cette valeur se décline également au niveau régional : 11 ± 11 % en Ardenne, dont $5,0\pm 7,3$ % rien que pour le maïs et 21 ± 11 % en Famenne dont $14,0\pm 9,6$ % rien que pour le maïs (table C.2 de l'annexe C).

Dans la typologie retenue, un seuil de 5 % de maïs dans la surface fourragère caractérise les exploitations dont le système d'alimentation est significativement marqué par le maïs⁶. Celles-ci sont au nombre de 27 sur les 49 exploitations. En-dessous de ce seuil de 5 % de maïs dans la surface fourragère,

6. Il s'apparente aux systèmes herbe-maïs décrits par Vignau-Loustau & Huyghe (2008)

nous considérons que le système d'alimentation des exploitations est basé sur l'*herbe*⁷. Ce mode caractérise le système fourrager de 22 exploitations.

6.3.5 Le chargement à l'hectare

Seuls les UGB des troupeaux bovins des exploitations ont été estimés, ce qui représente la grande majorité, voir l'exclusivité, des UGB totaux présents dans la plupart des exploitations.

Le chargement à l'hectare d'une exploitation est défini comme le nombre d'UGB présents sur l'exploitation par rapport à la superficie destinée aux animaux. La superficie destinée aux animaux est définie comme l'ensemble des prairies (pâturées et fauchées), des cultures fourragères (maïs, betteraves, *etc.*) et des autres cultures (orges, épeautres, *etc.*) dont les productions sont destinées à l'alimentation du bétail.

Pour l'ensemble de l'échantillon, le chargement moyen à l'hectare est proche de $2,1 \pm 5,6$ UGB/ha. En moyenne, ce chargement est similaire au sein des deux régions étudiées (Ardenne : $2,1 \pm 0,65$ UGB/ha, Famenne : $2,0 \pm 0,4$ UGB/ha, table C.2 de l'annexe C).

Dans la typologie retenue, un seuil 1,7 UGB par hectare de surface fourragère caractérise les exploitations dont le système de production est *intensif*. Cet état caractérise 36 exploitations. En-dessous de ce seuil, la production est considérée comme *extensive* (13 exploitations).

6.4 L'application de la méthode à l'étude de cas

6.4.1 La récolte des données, l'enquête (Étape 1)

Cinquante-et-un entretiens ont été réalisés au cours de deux périodes⁸ aux cours desquelles des agriculteurs de chacune des deux zones agro-

7. Il s'apparente aux systèmes herbagers décrits par Vignau-Loustau & Huyghe (2008)

8. Décembre 2008 – Mars 2009 & Février 2010 – Juin 2010

écologiques ont été entretenus. Sur ces cinquante-et-un entretiens, deux ont été retiré arbitrairement de l'échantillon : un premier à cause du peu d'informations obtenues durant l'entretien et un deuxième de par la localisation d'une grande partie de son exploitation dans le Condroz. La localisation des 49 exploitations retenues fait l'objet de la figure 6.1 (p. 117).

Les entretiens avaient une durée d'une heure et demie à deux heures. Durant cette phase de l'enquête, environ 88 heures d'entretien ont été réalisées, dont près de 76 ont été enregistrées. La retranscription de l'ensemble des entretiens correspond à 290 pages⁹.

6.4.2 La condensation des données qualitatives, le codage du matériau (Étape 2)

Le codage thématique du matériau a été réalisé sur base de la grille d'entretien. La liste des thèmes utilisés pour cette étape est présentée à l'annexe A. La liste des codes issus du codage inductif est présentée dans la partie 'Application', à la section 7.3.2 (p.151).

6.4.3 La génération des Cartes Cognitives Individuelles (Étape 3)

Cette étape est automatisée et indépendante de l'étude de cas. La présentation générique de cette étape fait l'objet de la section 5.1.3 (p. 93).

9. soit environ 187 000 mots, pour mémoire

6.4.4 Le partitionnement de l'échantillon (Étape 3')

a Le classement *a priori*

Dans le cadre de l'étude des pratiques dans les systèmes agraires, quatre classements *a priori* de l'échantillon ont été réalisés. Ils se sont appuyés sur

- un critère géographique : les régions agro-écologiques des exploitations dont les deux niveaux sont
 - Famenne (n=21) et
 - Ardenne (n=28);
- trois critères techniques :
 - *présence* de troupeau laitier dont les deux niveaux sont
 - *présence* de troupeau laitier (incluant également les éleveur *mixtes*¹⁰, n=20) et
 - *absence* de troupeau laitier (éleveurs possédant uniquement un troupeau allaitant, ou *viandeux*, n=29).
 - la part de maïs fourrager dans la surface fourragère totale dont les deux niveaux sont
 - *herbe* (< 5 %, n=22)
 - *maïs* (> 5 %, n=27)
 - le chargement en bétail dont les deux niveaux sont
 - *faible* (< 1,7UGB/ha, n=13)
 - *élevé* (> 1,7UGB/ha, n=36)

b La classification *a posteriori*

Les trois méthodes de classification présentées dans la synthèse générique de la méthode développée (section 5.3), à savoir celles basées sur la similarité des relations en présence, sur la similarité des concepts en présence ou sur la similarité de la structure des cartes, ont été appliquées pour scinder l'échantillon sur base des systèmes de pratiques des éleveurs. Ces méthodes étant

10. Éleveur mixte : (a) éleveur possédant un rameau bovin mixte, produisant à la fois du lait et de la viande; ou (b) éleveur possédant un troupeau laitier et un troupeau allaitant (ou *viandeux*)

automatisées et indépendantes du cas d'étude, il n'y a pas lieu de préciser une quelconque spécificité.

6.4.5 La génération des Cartes Cognitives Sociales (Étape 4)

Cette étape est automatisée et indépendante de l'étude de cas. La présentation générique de cette étape fait l'objet de la section 5.1.4 (p. 95).

6.4.6 L'analyse comparative (Étape 5)

Cette dernière étape, comme les étapes 3 et 4, est automatisée et indépendante de l'étude de cas. La présentation générique de cette étape fait l'objet de dernière partie de la section 5.3 (p. 99).

Conclusion

L'APPROCHE D'ANALYSE DES SYSTÈMES DE PRATIQUES développée dans le cadre de notre thèse a été appliquée à l'étude d'un cas concret : la gestion des prairies dans les fermes d'élevage bovin en région herbagère belge (Ardenne et Famenne) : gestion des prés de fauches et des pâtures, production et conservation des fourrages, affouragement du bétail.

Les résultats de l'étude des systèmes de pratiques des éleveurs ardennais et famennois sont présentés sous forme de deux articles publiés, dans les deux chapitres suivants de cette partie. Chacun de ces articles présente une utilisation de la méthode : étude descriptive de la complexité des systèmes de pratiques (Vanwindekens *et al.*, 2013, chapitre 7), étude analytique de la diversité des systèmes de pratiques (Vanwindekens *et al.*, 2014, chapitre 8).

APPLICATION DESCRIPTIVE & INDUCTIVE DE LA MÉTHODE

RÉSUMÉ

NOTRE APPROCHE basée sur la cartographie cognitive pour l'analyse des systèmes de pratiques dans les systèmes socio-écologiques est présentée dans ce septième chapitre. Elle consiste en la modélisation de ces systèmes de pratiques à partir des conceptions des agents récoltées lors d'entretiens semi-dirigés.

Les cartes cognitives ont la forme d'un réseau constitué de variables de diverses natures (opérations, *'drivers'*, contraintes) reliées les unes aux autres par des relations variées (cause à effet, flux de matières, flux d'information et séquences d'opérations). Les cartes cognitives individuelles modélisent les pratiques et les processus décisionnels exprimés par les agents interviewés. La formulation mathématique des cartes cognitives sous forme de matrice permet d'intégrer les cartes cognitives individuelles en une carte cognitive sociale. La carte cognitive sociale est considérée comme un modèle du système de pratiques développé et/ou adopté par une communauté d'agents.

La méthode présentée dans ce chapitre a été utilisée pour l'analyse des pratiques et des processus de décisions liés à la gestion des prairies dans les systèmes d'élevage bovin en Ardenne et en Famenne, deux zones herbagères du Sud de la Belgique. Ce travail a permis de confirmer qu'une carte cognitive sociale peut être établie pour modéliser des systèmes de pratiques mis en place par une multitude d'agents, gérant chacun leur propre système. Les résultats de notre recherche montrent également comment la méthode inductive développée permet de palier deux limitations fréquemment pointées dans les études antérieures : (i) la diversité de signification des variables et des relations des cartes cognitives entre les individus et (ii) la difficulté de connaître les raisons qui fondent les relations des cartes cognitives des individus.

SOMMAIRE

7.1	Introduction	141
7.2	CMASOP approach	146
7.2.1	Step 1 – data collection	146
7.2.2	Step 2 – coding	147
7.2.3	Step 3 – individual cognitive mapping	148
7.2.4	Step 4 – social cognitive mapping	149
7.3	Case study : grass forage management	150
7.3.1	Materials : data collection (step 1)	151
7.3.2	Results	151
	a Coding (step 2)	151
	b Individual cognitive mapping (step 3)	154
	c Social cognitive mapping (step 4)	154
7.4	Discussion	162
7.4.1	Properties and limits of cognitive mapping	162
7.4.2	Originalities, strengths and weaknesses of CMASOP	163
	a Coding-based cognitive mapping	163
	b More than causal relationships	165
	c Exploring the diversity of a relationship	166
	d Exploring a wider diversity	167
7.4.3	Potential uses and perspectives of CMASOP	167
7.5	Conclusion	168

Development of a broadened cognitive mapping approach for analysing systems of practices in social–ecological systems

Frédéric M. Vanwindekens, Didier Stilmant & Philippe V. Baret

Ecological Modelling 250 (2013) 352–362

ABSTRACT

This paper presents a new cognitive mapping approach for analysing systems of practice in social–ecological systems. These systems are mapped from people’s views collected during open-ended interviews. Cognitive maps are made up of diverse variables (e.g., operations, drivers, constraints) linked to each other by a range of relationships : cause–effect, fluxes of matter, information flows and sequence of two operations. Individual cognitive maps heuristically model the practices and decision-making processes expressed by interviewees. The mathematical formulation of cognitive maps allows individual cognitive maps to be aggregated into a social cognitive map. The latter can be used to model the system of practice used by a particular group of people. Using this approach, we analysed the practices and decision-making processes linked to grassland management in a Belgian grassland-based livestock farming system. Our work confirmed that a social cognitive map could be drawn up for multiple locations. The results showed how this inductive cognitive mapping approach overcame two limitations frequently highlighted in previous studies : the diverse interpretations of variables and relationships ; and the difficulty in revealing the rationale in cognitive maps.

HIGHLIGHTS: ► We developed an approach to model systems of practices in social–ecological systems. ► Open-ended interviews are coded into individual cognitive maps (ICMs). ► For a given set of actors, ICMs can be aggregated in social cognitive maps (SCMs). ► Analysis of SCMs highlights most important relationships within systems of practices. ► Our approach was applied to grass forage management in Belgian grasslands systems.

KEYWORDS: Fuzzy cognitive mapping, Systems of practices, Social–ecological Systems, Livestock farming system, Grassland management

7.1 Introduction

In social–ecological systems (Holling, 2001; Walker *et al.*, 2004), decision-making tends to be extremely complex because of the intricacy of these sys-

tems (Ascough *et al.*, 2008). In the agricultural context, the scientific community has developed various models of these systems and used them as simulation tools to support managers' decisions (Edwards-Jones, 2006; McCown *et al.*, 2009). Farmers' strategies are based on the interaction of their perceptions about their ecological, economic and social environments. These strategies are translated into practices through decision-making processes. As external factors change, strategies and practices are continuously adapted. The study of managers' practices and their drivers is an important factor in modelling agricultural systems and highlights the need to model both system complexity at the farm level and system diversity at the regional level (Landais *et al.*, 1988).

Studies of practices in agricultural systems can be grouped into two broad scientific approaches : one based on social issues (anthropological science) and the other on technical issues (engineering science). The social approaches are inductive, linked to anthropological and social sciences, and view practices as social constructs from a constructivist point of view (Darré, 1996; Darré *et al.*, 2004). They focus on understanding managers' perceptions and representations of social-ecological systems, either as a whole or divided into sub-systems, in terms of practices, knowledge, etc. (Darré *et al.*, 2004). The outputs of such studies provide a good understanding of the studied situations, but they are not easy to incorporate into bio-economic simulation (Mathieu, 2004; Papy, 2004). Conversely, the technical approaches involve studying complex interactions among elements of the studied systems (Janssen & van Ittersum, 2007; Darnhofer *et al.*, 2010). They use theories from artificial intelligence or management science in order to build farming systems models and decision-support systems (Aubry *et al.*, 1998; Girard & Hubert, 1999; Dounias *et al.*, 2002; Keating *et al.*, 2003; Cros *et al.*, 2004; Louhichi *et al.*, 2004; Merot *et al.*, 2008; Vayssieres *et al.*, 2009). These models can be used to simulate and evaluate scenarios in order to support managers via decision support systems (DSS). In most of these bio-economic models, the involvement of actors (managers or non-scientific experts) is limited to their validating, enriching or specifying the structure of a model developed by scientists (Gouttenoire *et al.*, 2010).

Historically, models of social–ecological systems have tended to ignore the social components (Dent *et al.*, 1995) leading to the limited impact of DSS in rural resource management. This has led various authors to highlight the need for incorporating social aspects into DSS (Edwards-Jones, 2006; Gouttenoire *et al.*, 2011). In order to improve decision-making in social–ecological systems, greater understanding is needed of the knowledge used by managers (such as farmers) in managing their systems (Girard & Hubert, 1999). A way to address this challenge is to develop models based on farmers’ perceptions that reflect the way they perceive their own agro-ecosystem in an inductive way. The structure of these models should be focused on the farmers’ practices. The objective of our study was to develop a socio-technical modelling tool to inductively identify and model farmers’ systems of practice.

Cristofini *et al.* (1978) were the first to use the term ‘system of practice’, referring to ‘a consistent combination of practices’ (Gras *et al.*, 1989). In an organizational context, a ‘system of practice’ was later defined as the actions shaped by normative structures (Levitt, 1998) or as the complex network of structures, tasks and traditions that create and facilitate practice (Halverson, 2003). In our study, the definition of ‘systems of practice’ provided by Cristofini *et al.* (1978) was broadened thus : a farmers’ system of practice is (i) a particular combination of elementary practices, (ii) factors influencing practices, (iii) elements affected by these practices and (iv) the way in which all of them are linked to each other.

Studying systems of practice implies a degree of complexity : systems of practice are not only constrained by their environment (e.g., market, climate, seasons, consumer choices), but are also highly influenced by human factors (actors’ preferences and perceptions). The importance of these human factors underlines the need to analyse actors’ local knowledge. In this context, knowledge-driven modelling techniques, such as cognitive mapping approaches, seem to be promising alternatives for implementing DSS in terms of taking account of social aspects (Fairweather, 2010).

Cognitive mapping approaches have been used to identify people’s perceptions of complex social systems (Özesmi & Özesmi, 2004). In this field of study, the work of Axelrod *et al.* (1976) was seminal. He was the first to

use directed graphs (i.e., a network of nodes and directed edges) to show causal relationships based on actors' descriptions, and he called these representations 'cognitive maps'. Kosko (1986) applied fuzzy causal function (i.e., weighting the edges, from -1 to 1) to the relationships, creating 'fuzzy cognitive maps' (FCM). Recent scientific studies have used cognitive mapping techniques in various domains, such as management studies (Pinch *et al.*, 2010), finance (Koulouriotis *et al.*, 2005) and medical sciences (Stylios *et al.*, 2008; Papageorgiou, 2011). In an organizational setting, the Strategic Options Development and Analysis (SODA) technique has been developed by Colin Eden and Fran Ackermann (Ackermann & Eden, 2010). This technique is used to represent problematic situations in individual or collective cognitive maps. Taking account of a complex system of goals and objectives, it allows participants to explore options and find negotiated solutions to resolve problematic situations.

In environmental sciences, cognitive mapping techniques have been used mainly in environmental conflict management (Özesmi & Özesmi, 2003, 2004) and forest management (Mendoza & Martins, 2006; Tikkanen *et al.*, 2006; Isaac *et al.*, 2009; Kok, 2009; Wolfslehner & Vacik, 2011). Ten studies have applied FCM to agricultural systems analysis (Table 7.1) in order to : (i) understand farmer perceptions about pesticides (Popper *et al.*, 1996) on their own farms (Fairweather, 2010) or about environmental management measures (Ortolani *et al.*, 2010); (ii) describe practices in agro-ecosystems (Isaac *et al.*, 2009); (iii) assess the impact of agricultural systems on the environment (Özesmi & Özesmi, 2003) and crop yield (Papageorgiou *et al.*, 2009; Papageorgiou, 2011) and the impact of policies on agricultural systems (Hukkinen, 1993; Newig *et al.*, 2008); and (iv) evaluate the sustainability of agro-ecosystems (Rajaram & Das, 2010; Fairweather & Hunt, 2011).

Cognitive mapping approaches are flexible tools that can model people's diverse drivers and motivations without excluding the technical dimensions linked to the studied system of practice. Özesmi & Özesmi (2004) developed a multi-step FCM approach for analysing how people perceive an ecosystem and for comparing and contrasting the perceptions of different people or stakeholder groups. The authors looked at particular examples of environmental conflicts, each one linked to one ecosystem, such as the creation of a

TABLE 7.1 – Previous scientific work applying fuzzy cognitive mapping (FCM) approaches to agricultural systems.

Study	Subject	Place	Scale	Mappers
Huukkinen et al. (1993)	Institutional distortion of drainage modelling	USA (Arkansas)	River Basin	Officials
Popper (1996)	Knowledge and beliefs about pesticides	Guatemala	Farm	Farmers and housewives
Özesmi and Özesmi (2003)	Lake ecosystem management plan	Turkey (Uluabat)	Ecosystems	Six groups of stakeholders
Newig et al. (2008)	EU-induced institutional change	Germany and Austria	Regional agricultural land use	Experts and stakeholders
Isaac et al. (2009)	Farm management and practices in agroforestry systems (cocoa)	Ghana	Farm	Farmers
Papageorgiou et al. (2009, 2011)	Cotton yield management in precision agriculture	Greece (Central)	Field	Experts
Fairweather (2010)	Perceptions of how a dairy farm ecosystem works	New Zealand	Farm	Farmers
Ortolani (2010)	Concepts of environmental management measures	Belgium	Farm	Farmers
Rajaram and Das (2010)	Sustainability components of agro-ecosystems	Southern India	Community (Case study : one village)	Farmers and villagers
Fairweather (2011)	Sustainability of sheep/beef cattle farms	New Zealand	Farm and type of farm	Farmers

national park or the erection of a hydroelectric dam. Fairweather (2010) has applied Özesmi & Özesmi (2004)'s approach to the study of identical ecosystems in different places. He has shown how maps from several farmers, each describing his/her own farm, can be used to build a group map that represents how a group of farmers think their farm ecosystem works. These maps created with farmers focus on the farm system as whole, overlooking details about how parts of the system work. Considering the complex nature of social–ecological systems, he suggested that further work on building causal maps for particular parts of the farm system would be needed to describe fully how the system works (Fairweather, 2010). Based on FCM, we have developed a new approach for examining a particular part of the farm system – the system of farmer practices, as defined earlier.

In this article, we initially describe a Cognitive Mapping Approach for Analysing Actors' Systems Of Practices (CMASOP) in social–ecological systems. We then apply this approach to the analysis of forage management in a grassland-based livestock farming system, as a case study. One original aspect of the CMASOP approach is its application of cognitive mapping for gaining a detailed understanding of an important part of social–ecological systems – people's practices.

7.2 CMASOP approach

The CMASOP approach is based on using open-ended interviews to create individual cognitive maps (ICMs). These ICMs are then used to build a social cognitive map (SCM). The four steps are illustrated in Fig. 7.1 and are described below.

7.2.1 Step 1 – data collection

The first step is to conduct a study among managers of social–ecological systems. The in-depth interview process is guided by an outline of open-ended

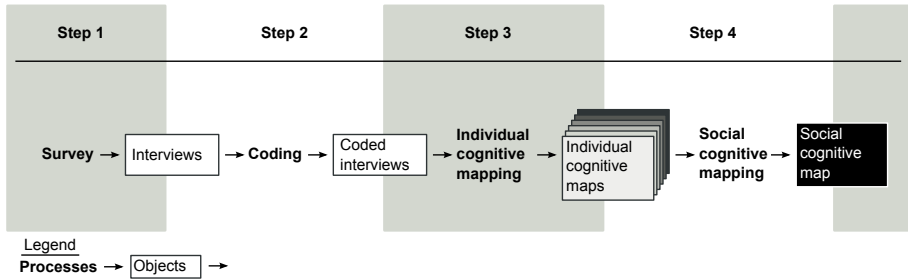


FIGURE 7.1 – The four main steps of the CMASOP approach and the objects that are used, produced or generated

topics that cover a broad range of themes linked to the systems being analysed : history, structure, managerial practices, and opinions and visions about the general context and local diversity of these practices. For this last topic and using snowball sampling (Pires, 1997), the names of other interesting actors are collected. The sample is therefore constituted during data collection with the aim of maximizing the diversity of structures and practices. The information collected is of both a qualitative (e.g., descriptions, perceptions) and quantitative nature (e.g., working force, exploited areas, yields). Interviews are recorded and then fully transcribed via a simple text editor.

7.2.2 Step 2 – coding

The transcription is coded by linking the relationships between two variables to the interview sections using computer-assisted Qualitative Data Analysis software in R (RQDA, Huang, 2010; R Development Core Team, 2009). One relationship can be linked to several sections (participants' quotations) and one section can be coded by several relationships.

If the interviews cover a wide topic, that topic can be divided into themes to be studied separately. In this case, optional thematic coding is required. The themes used in this sub-step are *a priori* based on, for instance, the topics of the interview outlines. These themes can be hierarchically structured.

Interview sections linked to the theme of interest are then coded using an inductive method. This step involves identifying the relationships among variables that participants cite to describe their systems of practice. The lists of variables and relationships are not *a priori* established, but are drawn up during this step. A variable is defined as an element of the system cited by the participant in order to describe his/her system. It can influence his/her practices and/or be influenced by the practices.

A relationship is a directional link between two variables cited by the participant and identified in his/her interview. In CMASOP, relationships can be grouped into six types : sequence of two operations ; output of an operation ; use of a product ; outcome of an operation or a state ; influence or condition of an operation or a product ; or general statement.

As an example, the following interview section “The cut plots are often on the same fields : those that are less sloped, closer to the farm, with less damage caused by wild boar . . .” described the drivers that guide the farmers in their allocation of a plot to cutting management. This section is coded using three relationships among four variables. The variables are Cutting Plot, Topography, Plot-Farm Distance and Wild Boar. The relationship links the three influencing variables (Topography, Plot-Farm Distance and Wild Boar) to the object of the practices described (Cutting Plot). The outputs of this step are coded interviews. The RQDA package produces a complex SQLite data base, where for each interview the fields of interest are :

1. interviewed actor ;
2. identified relationship among variables ;
3. quotations (sections of interview) linked to each relationship.

7.2.3 Step 3 – individual cognitive mapping

The directional relationships identified in interviews are processed to create ICMs. In the CMASOP approach, an ICM is the graphical representation of relationships identified in a participant’s interview. It takes the form of a network where the nodes are variables and edges are relationships. It illustrates

how this actor perceives and expresses his/her system of practice. The graphical forms of ICM were generated using the R-package RgraphViz (Gentry *et al.*, 2010). In these maps, the variables are arranged using a multidimensional scaling algorithm minimizing the number of edge crossings (Kamada & Kawai, 1989).

In mathematical terms, each map corresponds to an $N \times N$ Boolean matrix where N is the number of variables quoted by the actor. It is called an adjacency matrix (Özesmi & Özesmi, 2004). For instance, if the relationship a_{ij} between variable i and variable j is identified, the value of the relation a_{ij} is 1, which corresponds to TRUE in Boolean language. The output of this third step is a collection of ICMs and their related adjacency matrices.

7.2.4 Step 4 – social cognitive mapping

An SCM is generated by aggregating the ICMs. This operation is an arithmetic addition of adjacency matrices. The result is an adjacency matrix that is processed to generate an SCM. The adjacency matrix of an SCM is ordinal : the value of the element a_{ij} (i.e., the weight of the relationship linking variable i to variable j) can be greater than 1. In our study, the weight of a relationship is the number of interviewed actors who quoted this relationship. The output of this last operation is one SCM and its related adjacency matrix.

There are three ways of analysing SCMs : (i) graphical form of the cognitive map, (ii) graph theory indicators of map, variables and relationships and (iii) farmers' quotations linked to relationships. The graphical analysis of the cognitive map aims to sketch the general structure of the map and to identify the most central variables in the system and show how they are linked to each other through important relationships. Graph theory indicators can support the graphical analysis of maps by evaluating the weight of relationships, outdegree, indegree and centrality of variables. At the variables level, the outdegree is the cumulative weight of relationships exiting this variable, the indegree is the cumulative weight of relationships entering it and the centrality of a variable is the sum of its outdegree and indegree. The farmers'

quotations linked to relationships during the second step (coding) are available during all subsequent steps. The quote-retrieving module is useful for understanding the complexity and diversity that can characterize relationships in order to interpret the whole SCM.

7.3 Case study : grass forage management in a grassland-based livestock farming system

We used the CMASOP approach to analyse grass forage management (harvest, preservation and conditioning of grass forage) in the livestock farming systems of Ardennes and Famenne, two grassland-based systems in Belgium (Fig. 7.2). The study carried out among the farmers in this area is described here.

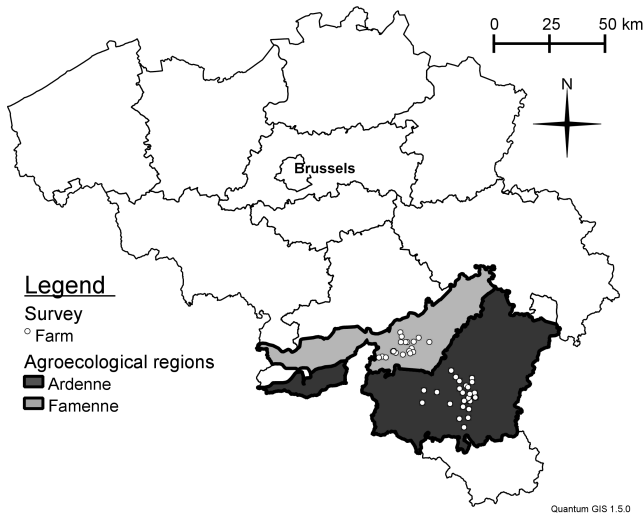


FIGURE 7.2 – Location of the two studied agroecological areas, Ardennes and Famenne, in Belgium. Location of the 49 farms in the study.

7.3.1 Materials : data collection (step 1)

A total of 49 farmers were interviewed over two periods : December 2008 to March 2009, and February to June 2010. We used a snowball sampling method (Pires, 1997), with farmers selected for interview being asked to name other interesting farmers who could participate in the survey. The selection criterion was aimed at maximizing the diversity of the studied farms in terms of their structure and, if possible, their functioning.

The studied farms occupied an average Utilised Agricultural Area (UAA) of 110 ± 48 ha. Grasslands occupied $85 \pm 12\%$ of the UAA and maize crop $8.2 \pm 8.4\%$ of the UAA. The average size of the herd was 220 ± 98 Livestock Unit (LU). Twenty-nine farms only had beef cattle, four only had dairy cattle and 16 had beef and dairy cattle.

7.3.2 Results

The results of the coding, ICM and SCM, are presented in this section. For this case study, only interview sections linked to grass forage management were analysed.

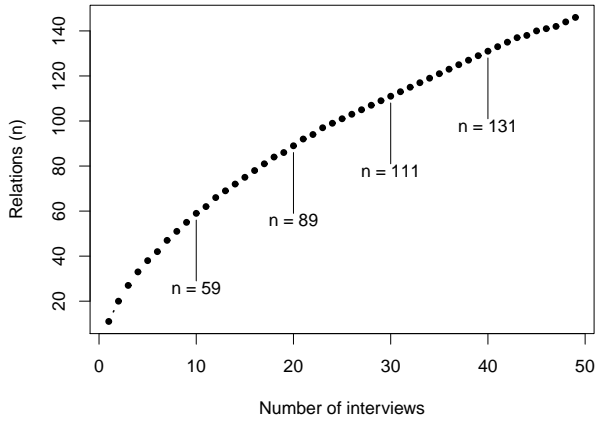
a Coding (step 2)

Among the sections related to grass forage management, 599 farmer quotations were identified as a relationship between two variables. In each interview, averages of 11.8 ± 5.0 relationships among 13.0 ± 4.5 variables were identified. In the 49 interviews, 166 relationships among 56 variables (Table 7.2) were identified.

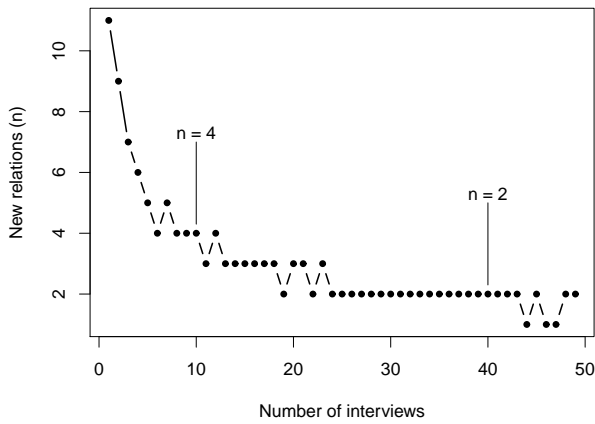
To assess the diversity of studied systems of practice, we computed the accumulation curve of the total number of relationships versus the number of interviews. Özesmi & Özesmi (2004) suggested computing the number of new variables added per interview. As the CMASOP approach is more focused

TABLE 7.2 – Grassland management variables taken into account by farmers and their centralities.

First cut	126	Animal health	8
Second cut	102	Topography	7
Bale wrap	95	Pregnant cows	7
Silo	82	Crop	7
Hay	80	Early topping	7
Weather	73	Autonomy	7
Cattle movement	66	Suckling herd	6
Cutting date	60	Forage maize	6
Plot-farm distance	55	Permanent grassland	5
Plot utilization	43	Calves	4
Third cut	36	Growth stage of grass	4
Forage quality	30	Wild boar	4
Forage quantity	30	Plot size	4
Yearlings	18	Turn-out	3
Supplementation	16	Dry cows	3
Meat cows	15	Utilized farm area	3
Soil type	14	Sale of forage	3
Stocking rate	14	Wet area	3
Dairy cows	11	Cows to be inseminated	2
Installations and equipment	10	Sale of cows	2
Workload	10	Off-farm work	2
Grazed area reduction	10	Working force	2
Inputs price	10	Town and Neighbours	2
Forage and Feed purchase	10	Agricultural contractor	2
Alfalfa	9	Grazing refusals	2
Temporary grassland	9	Flora	2
Natural grassland	9	Subsidies	1
Fertilizer	8	Early grazing	1



(a) Accumulation of relationships curve



(b) Accumulation of relationships rate curve

FIGURE 7.3 – Accumulation curves generated by the Monte Carlo technique in order to assess the diversity and saturation of information following the addition of any individual cognitive maps (ICMs).

on relationships, we sought to evaluate the accumulation curve of relationships instead of the accumulation curve of variables. The accumulation curve was generated using Monte Carlo techniques : (i) the interviews were randomly shuffled 200 times ; (ii) for each of the 200 sets, the number of new relationships linked to each interview was identified ; and (iii) the median of the 200 repetitions was calculated as an indicator of the number of different relationships that could be expected after each interview. The results showed that this rate decreased as the number of interviews increased : the first interview produced 11 new relationships, the 10th produced four and the 20th produced two. A saturation occurred after about 20 interviews : the accumulation rate reached a stable value of about two new relationships for each new interview (Fig. 7.3). These results confirmed those reported by Özesmi & Özesmi (2004), who recorded a saturation after about 17 interviews and the expectation of one or two new or unique variables for each new interview.

b Individual cognitive mapping (step 3)

The relationships identified in each interview were used to generate 49 ICMs. The ICM of farmer #11 is shown as an example in Fig. 7.4 and is described detail in Table 7.3. In ICMs, the weights of identified relationships are fixed at 1. The quotations of farmer #11 linked to the relationships of his/her map were useful for interpreting the map and could be easily retrieved using the approach that had been developed.

An SCM can be built from individual ones in order to highlight the more important drivers and relationships for a group of farmers. The results of SCM (step 4) are presented here.

c Social cognitive mapping (step 4)

We generated an SCM, aggregating the 49 ICMs. This SCM would be difficult to present and interpret as a whole (Fairweather, 2010). In order to simplify it, trial-and-error tests led us to focus only on those relationships with a weight clearly greater than 1 (Fig.7.5). In the SCM, the weight of a relationship is

TABLE 7.3 – Complete list of relationships in the individual cognitive map (ICM) of farmer #11 (Fig. 7.4) and their meanings, based on the farmer’s quotations of the farmer linked to each relationships.

The relation from variable...	To variable...	Points out that ...
First cut	Silo	The harvest of the first cut is conserved in silo
First cut	Hay	The harvest of the first cut is conserved in hay
First cut	Cattle movement	Some cut plots are reallocated to grazing after the first cut, involving a decrease of stocking rates of grazed plots
Second cut	Sale of forage	The second cut is sold if there is enough forage
Forage	Sale of forage	The second cut is sold if there is enough forage quantity
Suckling herd	Hay	To meet the needs of his/her herd breed (suckling herd), the farmer decides to harvest grass and conserve it as hay
Suckling herd	Cutting date	To meet the needs of his/her herd breed (suckling herd), the farmer decides not to harvest grass too early
Forage quality	Cutting date	The farmer tries not to harvest too early, to obtain a young and rich grass forage
Natural grassland	Cutting date	The natural grassland must not be cut before 15 June in order to meet the requirements of agri-environmental schemes
Natural grassland	Silo	The grass harvested from natural grasslands is conserved in silo where possible
Silo	Cutting date	"The silo done from natural grasslands (n.b. an agri-environmental scheme that makes rules to the cutting date, see here above) is less good. It is too dry, the conservation is less good. Maybe would have I to make hay ..."
Plot-farm distance	Cutting plots	Cutting plots are nearer than grazed plots in order to limit forage transport
Plot-farm distance	Grazed plots	Cutting plots are nearer than grazed plots in order to limit forage transport
Plot-farm distance	Silo	Cutting plots for silage making are not far away, in order to limit transport time and the work of the agricultural contractor
Plot-farm distance	Hay	Cutting plots for hay making can be further than those for silage making because "it is lighter to carry, and we have the time to do it" (i.e., "we can stagger this work")
Plot-farm distance	Yearling	plots grazed by yearlings (heifers, in this case) can be far away from the farm because "there is nothing to do"
Topography	Cutting plots	The sloping grasslands are not cut
Topography	Grazed plots	The sloping grasslands are not cut
Wild boar	Cutting plots	The damage they cause is greater in cutting plots, and so the more damaged grasslands are allocated to grazing

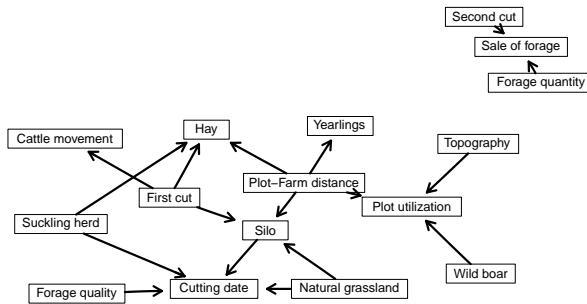


FIGURE 7.4 – Example of an individual cognitive map (ICM) : farmers #11’s ICM (graphical form).

the number of farmers’ interviews in which this relation had been identified. Weights are illustrated in the Fig. 7.5 by the thickness of edges and their values besides the edges. The core of the maps is made up of variables linked to each other by highly weighted relationships : First, Second and Third Cuts, Silo, Bale Wrap, Hay and Cattle Movement (Table 7.4). These will be discussed later. Around this core, six variables (Plot Utilization, Plot-Farm Distance, Forage Quality, Forage Quantity, Cutting Date and Weather) are also highly connected as measured by the centrality indicators (Table 7.4). These 13 variables are the most central variables, their centralities all being higher than 25 (Table 7.4). These highly connected variables are known as ‘hubs’ (Barabasi & Oltvai, 2004). In this study, we distinguish between ‘core hubs’ and ‘peripheral hubs’.

The relationships linked to the 13 hubs are shown in a simplified SCM (Figure 7.6). Here, we present in detail the meaning(s) of relationships linked to some central variables. The meaning(s) of relationships were described by farmers during interviews and can be captured by the ‘quote-retrieving’ module. For the sake of clarity, we will focus on four variables and describe relationships with a weight greater than or equal to 2. These variables are the two most central core hubs (First Cut and Second Cut) and the two most central peripheral hubs (Weather and Cutting Date).

First Cut and Second Cut

Technical variables related to forage harvesting and conservation were the most frequently cited by farmers when speaking about their forage management. These variables describe operations (First, Second, Third Cuts and Cattle Movement) or objects (Silo, Hay and Bale Wrap). Highly weighted relationships connect them. Their centralities are therefore high and the graphical algorithm places them at the core of the map (Fig. 7.5).

Relationships entering or exiting the First Cut and Second Cut variables (Fig. 7.6) can be grouped into three types (see typology of relationships in 2.2. Coding). The first type describes the conservation mode chosen for the harvested forage (type 'use of product'). These relationships point to other core hubs. The second type describes the succession of two operations (type 'sequence of two operations'). The third type describes the factors influencing grass harvest (type 'influence of an operation'). These drivers are peripheral variables. These three categories of relationships are described in the three following paragraphs.

The relationships specifying the choice of conservation mode for cut grass link one of the cutting operations (First or Second Cut) to one of the three conservation modes (Silo, Hay or Bale Wrap). Most of these six relationships are among those most often quoted (Table 7.4). Citing these basic technical operations is an obvious part of farmers' descriptions of their grass forage management system. The most interesting relationships concern (i) the impact of these basic operations on other operations and (ii) the influences of other variables on these basic operations.

Four relationships indicate the sequences of two operations (Fig. 7.6). The relationships linking First Cut and Second Cut to Cattle Movement and linking Early Topping to First Cut reveal that some plots, after the first or second cut, are reallocated to grazing, generating cattle movement, or are grazed for a short period before the first cut. In addition, the relationship linking First Cut to Second Cut also indicates that the development of First Cut in terms of cutting date, quantity harvested or conservation mode affects the planning of the second one.

TABLE 7.4 – Graph theoretical indicators calculated for the 13 variables (i.e., those with the highest centralities) of the peripheral and core hubs. Some variables have more of a transmitter character (Outdegree > Indegree); others have more of a receiver character (Indegree > Outdegree). T : transmitter, R : receiver.

	Outdegree	Indegree	Centrality	Character
Core hubs				
First cut	112	14	126	T ≫ R
Second cut	82	20	102	T > R
Third cut	26	10	36	T > R
Silo	5	77	82	R ≫ T
Bale wrap	5	90	95	R ≫ T
Hay	8	72	80	R ≫ T
Cattle movement	0	66	66	R
Peripheral hubs				
Plot utilization	5	38	43	R ≫ T
Plot-farm distance	54	1	55	T ≫ R
Forage quality	24	6	30	T > R
Forage quantity	27	3	30	T ≫ R
Cutting date	3	57	60	R ≫ T
Weather	73	0	73	T

Three relationships link influencing factors with a core hub (Fig. 7.6). The relationships linking Weather to First Cut and Weather to Second Cut indicate that the weather affects the characteristics or existence of the cutting operations. The relationship linking Soil Type to Second Cut shows that the soil type of the cut plots can influence the second cut. The effects of potential summer drought on the second cut in terms of cutting date, forage quantity or forage quality depend on the localisation and soil type of the cutting plots (e.g., plots along rivers are less affected).

Weather and Cutting Date

The Weather is a transmitter variable (Indegree = 0, Table 7.4). It is a driver that farmers link to harvest operations and forage conservation modes. It can influence some cutting and grazing management operations and obviously has an impact on the First, Second and Third Cuts and, more precisely, the Cutting Date and Forage Quantity (Fig. 7.6). But it also affects Grazed Area reduction or Cattle Movement in that farmers will reallocate parts of the grazed area to cutting in case of good grass growth due to good weather conditions. The Weather can also affect the choice of the forage conservation mode in that Silo and Bale Wrap can tolerate wetter forage after unexpected rain, for instance, but dry weather is an absolute requisite for hay making.

The Cutting Date peripheral hub is more a receiver variable (Indegree \gg Outdegree) than a transmitter one (Table 7.4). Entering relationships highlight drivers cited by farmers to explain the Cutting Date (Fig. 7.6) : the Weather (no rain during harvesting and tedding), the Growth Stage of grass, the Forage Quantity and the Forage Quality sought for the cattle type (e.g., for a Suckling Herd : later cutting date than for dairy cattle, ear emergence stage, more dry matter but less protein) and the conservation mode (for silaging, the harvesting has not to be done too late ; for bale wrapping, harvesting can be staggered and cutting date is more flexible). The only relationship exiting this variable relates to Hay and indicates that hay has to be chosen as conservation mode if the cutting date is later than expected due to poor weather conditions.

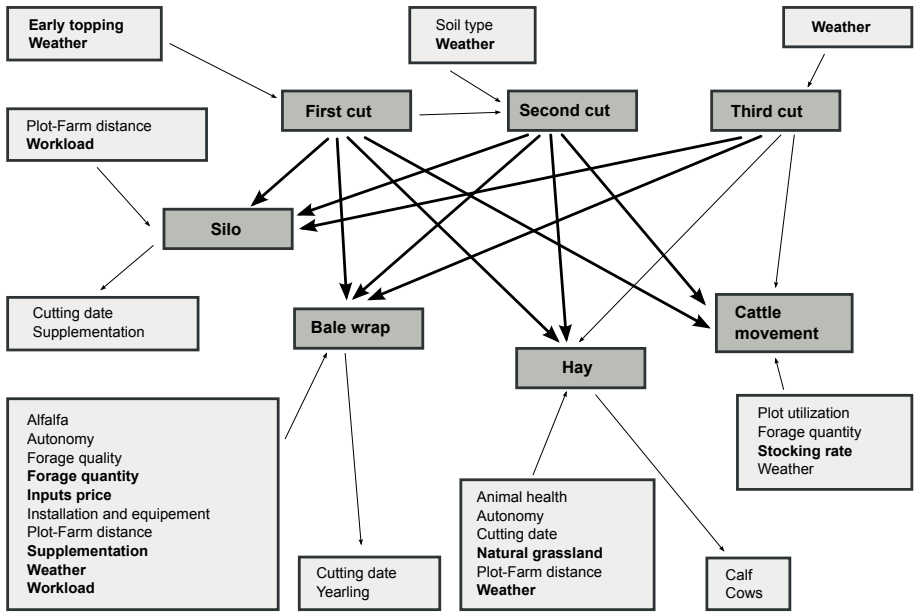


FIGURE 7.6 – Simplified representation of the social cognitive map (SCM) shown in Fig. 7.5. It includes relationships to variables linked to the core of the SCM (relationship weight greater than or equal to 2). Bold arrows and bold variables highlight relationships whose weights are greater than 3.

7.4 Discussion

Systems of practice and the way people talk about them are complex (Landaïs *et al.*, 1988; Darré *et al.*, 2004). Elements taken into account for decision-making stem from highly diverse fields – socio-economic, ecological and psychological (Cerf, 1996) – and decision-making processes are themselves affected by elements of these diverse fields. In addition, approaches used to study the practices are multidisciplinary : agronomy, mathematics, management and socio-anthropology. In this context and considering the limits of available modelling tools, we developed a semi-automated cognitive mapping approach that combined computer capability in information analysis with the richness of qualitative approaches in depicting reality.

Here we discuss (i) the properties of cognitive mapping approaches that justify their use in studying systems of practice ; (ii) the originalities, strengths and weaknesses of the proposed cognitive mapping approach (CMASOP) and (iii) the potential uses of CMASOP and its future development.

7.4.1 Properties and limits of cognitive mapping

Cognitive mapping approaches have a twofold nature : qualitative and quantitative. The *qualitative nature* of a cognitive map stems from its graphical formulation and the nature of its basic compounds : variables and relations. This qualitative nature is useful both for elaborating models and for analysing them.

In the elaboration of cognitive maps, the qualitative nature of its basic compounds brings the flexibility required for studying highly diverse systems characterized by high internal complexity. It allows the integration of variables of a wide variety of types that can be linked together in various ways in order to model a system. The graphical formulation of cognitive maps is used by most cognitive mapping approaches for elaborating cognitive maps with actors in a participatory way. It allows actors' control of the modelling process and a detailed characterization of relationships in terms of importance, meaning, etc. However, this mapping task is not unproblematic (Fair-

weather, 2010) and requires from actors a deep understanding of the elements and a capacity to think of their system as a model.

In analytical steps, the graphical formulation of cognitive maps offers multiple advantages : (i) it can be used as a communication tool between people (e.g., farmers, developers, scientists) and (ii) it is a convenient way to represent the complexity of a system and capture its general structure at first glance : variables of the system, relationships among them, influencing factors, central variables, etc.

The *quantitative nature* of cognitive maps stems from their matrix formulation. The adjacency matrices are particularly useful in the analysis of cognitive maps : (i) computing graph theory indicators (e.g., centralities); and (ii) aggregating different ICMs into an SCM (Özesmi & Özesmi, 2004).

7.4.2 Originalities, strengths and weaknesses of CMASOP

So far as we know, the CMASOP approach is the first FCM application to systems of practice in social–ecological systems. We discuss here four methodological originalities of our approach : (i) coding-based cognitive mapping; (ii) integration of non-causal relationships in the maps, (iii) a quote-retrieving module; and (iv) a widening of diversity explored compared with traditional anthropological methods. We also highlight the strengths and weaknesses of the CMASOP approach.

a Coding-based cognitive mapping

One methodological originality of the CMASOP approach is that cognitive maps are not elaborated with actors, but are the output of coding of open-ended qualitative interview transcriptions.

On the one hand, this process overcomes the difficulty of sharing the mapping task with actors (Fairweather, 2010). This has two implications. First, CMASOP allows qualitative data to be collected in an inductive way and to therefore include marginal and innovative systems of practice. This contrasts

with other methods where actors map their systems using a predefined list of variables (Fairweather, 2010). A second positive implication is that CMA-SOP allows the sampling to be extended to actors who would not be able to represent their systems in models such as cognitive maps.

On the other hand, the dissociation of the mapping task from the interviews has three consequences that can be seen as limits of CMASOP. First, the cognitive maps are based on information collected during interviews. This requires from the interviewers some skills in conducting open-ended qualitative interviews (e.g., broaching themes under study without influencing interviewees, restarting the interview) (Miles & Huberman, 2003; Kaufmann, 2004).

A second consequence is that the mapping task depends on the researcher's coding of interviews. This step requires an interpretation in defining or selecting variables, relationships among variables and actors' quotations linked to relationships. Actors express the same things in different ways, using different words. Part of the coding involves interpreting the interviews and aggregating in a unique relationship the quotations linked to the same reality. It is worth noting that the list of variables and relations are not *a priori* established, but emerge from the analysis during the coding process. It is therefore likely that variables need to be split into more detailed ones or, conversely, that some variables need to be aggregated into a more general one. CMASOP does allow these types of evolution during the coding step, but the impact of the coder's interpretation on modelling is limited because of the object under study – the practices of actors in social-ecological systems. In the present paper and because of the basic technical nature of the operation that was the subject of the case study (grass forage harvest, conservation and conditioning), the description of the farmers are also seen as technical elements, as are the elements of their cognitive maps. The relationships are essentially descriptive, but include interpretative and explanatory statements made by actors during their interviews. The coding of most technical elements do not require an interpretation from the coder. In these cases, the actors' perceptions of their practices and the diverse influencing elements (e.g., technical, social, economic) are quite simple. We recognize that the impact of the coder's interpretation could be greater when studying more complex choices that are more influenced by social and economic factors and actors' percep-

tions and preferences, such as choices about structural investments (e.g., new dairy, new building, new herd). In studying these types of practices, techniques used in social sciences could be used to control and limit the impact of the coder's interpretation (e.g., coding a part of interviews by two different coders and confronting their works). In addition, each relationship is linked to one or more actors' quotations. Quotations stay linked to relationships and can be retrieved at every step of the analysis. This mechanism is used as a verification tool for controlling over-interpretation.

The third limitation is the binary nature of the produced cognitive map. In an individual map, a relationship between two variables can only be 'present' or 'absent' and, therefore, is not quantified. When the mapping task is done directly with actors (Özesmi & Özesmi, 2004; Fairweather, 2010), relationships can be weighted in accordance with their causal influence. Weighting relationships with actors during a second round of interviews could overcome this weakness. Also, such a second round could act as a discussion-validation step of the CMASOP approach with actors.

b More than causal relationships

Classical cognitive mapping (Axelrod *et al.*, 1976), FCM (Kosko, 1986) or even causal mapping (Fairweather, 2010) approaches include only causal relationships in models. As CMASOP deals with systems of practice, it is more flexible about the nature of relationships. The systems of practice are constituted by elements of a diverse nature : technical (operation, object and person), ecological (external drivers), economic (external drivers) and social (drivers, perceptions, etc.). The relationships linking these diverse variables are therefore also of a diverse nature. They can be causality relationships (A causes B), sequences of two operations (A is followed by B) and flows of matter, information and/or energy (from A to B). A variable motivating a choice or affecting an operation is considered as a driver of this choice or operation.

c The quote-retrieving module, a way to explore the diversity reflected by a relationship

In CMASOP, an SCM is computed in order to highlight key variables and key relationships in the systems of practice used by the sample of actors. In cognitive mapping approaches, variables and relationships can have different meanings for different actors. This heterogeneity is seen as a limit of these approaches by Fairweather & Hunt (2011). They argued that the “causal map itself does not make fully clear what the farmers took to be the meaning of each factor to be” (p.63, Fairweather & Hunt, 2011). This assertion applies especially to cases where each ICM corresponds to a unique system, such as in a multiple locations study (e.g., in Fairweather, 2010) or in the present study, where farmers describe their own farm systems. In these cases, merging ICMs into an SCM leads to a loss of context. If expressed by actors, the influences of the context on individual practices appear coherently in ICMs. In an SCM, actors’ systems of practice implemented in different contexts are aggregated. As a result, although there is no loss of information (relationships), overall coherence could be decreased. The description and analysis of an SCM requires special attention being given to the heterogeneity of relationships and the loss of a coherent context.

In CMASOP, the quote-retrieving module was developed to address these limitations, in a *posteriori* analysis of the variability within variables and within relationships. This allows the diversity of actors’ preferences and perceptions to be highlighted (van der Ploeg, 1994; Darré *et al.*, 2004). For instance, the relationship linking Farm-Plot Distance and Yearling can indicate opposite practices, depending on yearlings’ feeding choice. If supplemented, yearlings are located not far from the farm in order to facilitate daily feeding operations. If not supplemented, they are located on farthest plots because they need only weekly visits. The aggregation of these two meanings in the same relationships gives these relationships the categorized meaning : “the farm-plot distance is taken into account in the choice of plots allocated to yearling grazing.” This step could overcome another limitation of cognitive mapping noted by Kim and Lee (1998, in Özesmi & Özesmi, 2004) : “Although what-if’s can be modelled in FCM, why’s cannot be determined.” Using the

quote-retrieving module of CMASOP, the rationale of relationships can be *a posteriori* captured if actors expressed them.

d The possibility of exploring a wider diversity than with traditional anthropological methods

The diversity of systems of practice has been successfully investigated using qualitative anthropological studies (Cristofini *et al.*, 1978; Darré *et al.*, 2004; Mathieu, 2004; Vayssieres *et al.*, 2007; Farmar-Bowers & Lane, 2009; Madelrieux *et al.*, 2009). These techniques have led to relevant results, but have been constrained by the time required for field work (immersion, Vayssieres *et al.*, 2007) or for the analysis of raw data (Darré *et al.*, 2004; Mathieu, 2004). As a result, the number of surveyed or involved farms has been limited (n=31, Cristofini *et al.*, 1978; n=5, Mathieu, 2004; n=33, Farmar-Bowers & Lane, 2009; n=10, Madelrieux *et al.*, 2009; n=6, Vayssieres *et al.*, 2011). CMASOP, based on FCM approaches, has the advantage of being less time consuming (Özesmi & Özesmi, 2004). Based on our experience in implementing the case study, the time required : (i) to organize and conduct one interview was about half a working day ; (ii) to transcribe the 2-hour interview was about 1 working day ; and (iii) to inductively code the part of the interview linked to a specific studied theme (e.g., grass forage management in the case study) was about half a working day.

7.4.3 Potential uses and perspectives of CMASOP

Cognitive mapping approaches can be used in three major ways : as an end per se in order to model a system : as a communication tool or a decision-support tool for scientists, developers, actors and stakeholders ; or as an intermediate object, a model preceding a simulation step in prospective or scenario evaluations (Özesmi & Özesmi, 2004; Kok, 2009).

As presented in this article, our cognitive mapping approach provides a tool that aims to describe actors' systems of practice in social-ecological systems. The map is an aim *per se*. In this context, CMASOP would be relevant in

the study of complex and less known social–ecological systems (e.g., farming systems in developing countries).

The use of cognitive maps as decision support tools and as intermediate objects of communication or simulation will be investigated in future developments of CMASOP approach. These will include comparative analysis of systems of practice across sites. Thus, the approach could be used to characterize the diversity of practices in social–ecological systems and to identify marginal or innovative actors. Beyond this, the CMASOP approach could be used to identify types of systems of practice (or farming styles, see van der Ploeg, 1994) using clustering methods. Another possibility is to model systems of practice in a dynamic way (Özesmi & Özesmi, 2004; Kok, 2009) in order to process simulations and test scenarios of the evolution of the environment of social–ecological systems. This could be used, for instance, to assess the resilience of systems of practice or evaluate actors' adaptability.

7.5 Conclusion

In this study we illustrated how cognitive mapping approaches could be used for analysing farmers' systems of practice. The twofold nature of these approaches, qualitative and quantitative, allows the studied objects to be considered in terms of their whole complexity and a model to be built based on actors' perceptions of social–ecological systems. Another key point of the analysis of systems of practice is the diversity among farms. The automation of our analysis approach takes into account a larger number of farms than is the case with traditional anthropological approaches. In addition, the social cognitive mapping step of the CMASOP approach allows a unique model of the systems of practice of various farms groups to be built. It also confirms previous works by showing that SCMs can be drawn across multiple locations, with each farmer speaking about his/her own system of practice. The approach could be applied in further work on people's perceptions of other parts of the social–ecological system (constraints, evolution, etc.) and to characterize the diversity in people's perceptions.

Conclusion du chapitre

DANS CE CHAPITRE, nous avons illustré comment les approches basées sur la cartographie cognitive peuvent être utilisées pour analyser les systèmes de pratiques des agriculteurs. La nature à la fois qualitative et quantitative de ce type d'approches permet d'appréhender l'objet d'étude dans toute sa complexité et de le modéliser à partir des perceptions que les agents ont des systèmes socio-écologiques.

La diversité des exploitations agricoles étudiées est un autre point clé de l'analyse des systèmes de pratiques. Le caractère semi-automatique de notre approche analytique permet d'étudier un nombre plus important de situation que ne le permettent les approches socio-anthropologiques traditionnelles. De plus, la génération des cartes cognitives sociales permettrait de représenter les systèmes de pratiques des agriculteurs groupés selon des critères variés.

Notre approche a permis de confirmer des études antérieures en illustrant la génération et l'analyse d'une carte cognitive sociale 'multi-sites', basée sur le discours d'agriculteurs décrivant chacun leur propre système de pratiques.

Les perspectives de cette première application descriptive de notre approche sont (i) la caractérisation fine de la diversité des systèmes de pratiques et (ii) l'étude des pratiques et des perceptions des agents par rapport à d'autres composantes des systèmes socio-écologiques (contraintes, évolutions possibles). Le chapitre 8 présente une méthode de caractérisation de la diversité des systèmes de pratiques et l'application de cette méthode au cas d'étude de notre thèse, la gestion des prairies en Ardenne et en Famenne.

CHAPITRE 8

APPLICATION COMPARATIVE & TYPOLOGIQUE DE LA MÉTHODE

RÉSUMÉ

LES PRATIQUES DES AGRICULTEURS se caractérisent non seulement par leur complexité à l'échelle de la ferme mais aussi par leur diversité à l'échelle régionale. Dans ce contexte, une approche systémique est requise pour étudier et évaluer cette diversité.

Nous avons développé CMASOP, une approche basée sur la cartographie cognitive pour analyser les systèmes de pratiques des agents dans les systèmes socio-écologiques. Pour l'étude de la diversité de ces systèmes de pratiques, nous avons amendé CMASOP et développé deux modules complémentaires qui visent à (i) comparer et à (ii) classifier de manière inductive les systèmes de pratiques. Dans ce huitième chapitre, nous présentons les deux méthodes et les résultats de leur application à l'étude de la gestion des prairies dans les systèmes d'élevage bovin en Ardenne et en Famenne, deux régions herbagères du Sud de la Belgique.

L'analyse comparative révèle que les systèmes de pratiques des éleveurs catégorisés selon des facteurs descriptifs (critère géographique ou orientation technique) présentent des différences significatives. La *classification* des cartes cognitives sert de base à l'établissement d'une typologie des systèmes de pratiques. L'analyse comparative des types de systèmes de pratiques ainsi mis en évidence révèle des différences qui sont significativement plus importantes et plus proches de la question étudiée (la gestion des fourrages herbagers) que dans le cas de l'approche basée sur les facteurs descriptifs. Notre méthode démontre que, dans l'étude de la diversité des systèmes de pratiques, le recours à une approche combinant la modélisation semi-qualitative et les méthodes statistiques permet de rendre compte de la complexité inhérente à ces systèmes.

SOMMAIRE

8.1	Introduction	173
8.2	Material and methods	176
8.2.1	Step 3' : Partitioning the ICMs	177
	a Categorization	177
	b Clustering	177
8.2.2	Step 4 : Generating SCMs	179
8.2.3	Step 5 : Comparative analysis	179
	a Relationship weight	179
	b Variables' indegree, outdegree and centrality	180
	c Outputs of the comparative analysis	180
8.2.4	Comparison with another FCM clustering method	180
8.3	Results	181
8.3.1	Comparison based on categorized systems of practices	181
	a Categorization based on agroecological area	181
	b Categorization based on technical factors	183
	c Comparison of results from categorization	185
8.3.2	Comparison of clustered systems of practice	189
	a Clustered according to relationships	189
	b Clustered according to variables	191
8.4	Discussion	194
8.5	Conclusion	197

A new approach for comparing and categorizing farmers' systems of practice based on cognitive mapping and graph theory indicators

Frédéric M. Vanwindekens, Philippe V. Baret & Didier Stilmant

Ecological Modelling 274 (2014) 1–11

ABSTRACT

Farmers' practices are characterized not only by complexity at the farm scale, but also by diversity at the regional scale. In order to assess this diversity, a systemic approach is needed for comparing and classifying systems of practice. We developed a cognitive mapping approach (CMASOP) for comparing and clustering these systems within the social-ecological environment. In this paper, we introduce the two methods we used to implement our approach and report on the results of applying them in a study of grassland management in livestock grazing systems in Belgium. The *comparison* showed that systems of practice categorized according to certain descriptive factors (geographical, technical orientation) had some significant differences. The *clustering* of cognitive maps provided the basis for establishing a typology of the systems of practice. The comparative analysis of clusters revealed very significant differences among factors closer to the studied issue (grass forage management) than was the case with the approaches based on descriptive factors. Our study demonstrated that, in studies of the diversity of systems of practice, using a combination of statistical methods and semi-qualitative modelling can take account of the inherent complexity of these systems.

HIGHLIGHTS: ► We sought to assess the diversity of agricultural systems of practice. ► We used an original combination of statistical and semi-qualitative approaches. ► The systems of practice differed significantly among the various types of farmers. ► Using CMASOP and clustering provides a typology of farmers' systems of practice.

KEYWORDS: Fuzzy Cognitive Mapping, Agricultural practices, Systems of practices, Social-ecological Systems, Comparative analysis, Clustering

8.1 Introduction

Farming practices and farm management are increasingly being recognized as key elements in determining the economic success and sustainability of

individual farms (Landais *et al.*, 1988; Mazoyer & Roudart, 2002; Brodt *et al.*, 2006). In their analyses of farm management, agricultural economists have demonstrated the role of individual decision making (Brodt *et al.*, 2006). The decisions that farmers take reflect a wide range of personal goals and values, accounting for two important characteristics of farming practices : complexity at the farm scale and diversity at the regional scale (Landais *et al.*, 1988).

In order to understand the complexity of Social-Ecological Systems (SES), including farming systems, semi-quantitative approaches for modelling them have been developed, based on local knowledge (Özesmi & Özesmi, 2004). The work of Axelrod *et al.* (1976) was seminal in this field. Using information from the public, he created directed graphs (i.e., a network of nodes and directed edges) to show causal relationships, calling these representations 'cognitive maps'. Kosko (1986) applied fuzzy causal function (i.e., edges weighted from -1 to 1) to the relationships, creating 'fuzzy cognitive maps' (FCMs). Farm management studies have successfully used FCM approaches to gain insight into how farmers think their production system works (Fairweather, 2010). Drawing on both these approaches, we developed the Cognitive Mapping Approach for analysing Systems Of Practices (CMASOP) in SES (Vanwindekens *et al.*, 2013). We illustrated the relevance of using this cognitive mapping-based approach via a study of forage management in grassland-based livestock farming systems in southern Belgium (Vanwindekens *et al.*, 2013).

Two typological approaches are used in analyses of farming system diversity : structural and functional (Landais *et al.*, 1988; Tittonell *et al.*, 2010). Structural typologies distinguish farms according to descriptive factors (size, technical and economic orientation, wealth and resource endowment indicators), whereas functional typologies take account of regulatory systems (governance) (Lazard *et al.*, 2010) and consider differences in practice as the main indicator of diversity (Cristofini *et al.*, 1978; Landais *et al.*, 1988; Perrot, 1990; Landais, 1998; Mbetid-Bessane *et al.*, 2003). Unlike structural typologies, functional typologies also take into account the dynamics of farming strategies, which should improve farm categorization (Tittonell *et al.*, 2010). The complexity of the social components of farming systems taken into account by functional typologies is usually limited to a few issues, such as farmers' general objec-

tives, strategic choices and farm history (Alary *et al.*, 2002; Gaspar *et al.*, 2008; Tiftonell *et al.*, 2010). Given the difficulty of understanding farmers' decision-making process and motivations in an inductive way, however, few studies have sought to categorize farms according to farmers' practices and decision making (Girard, 2006; Thenard *et al.*, 2007; Valbuena *et al.*, 2008).

In studies conducted by anthropologists on farmers' practices, the focus has tended to be on farmers' perceptions and representations of their farming systems in terms of the practices they use, the knowledge they have, etc. (Darré *et al.*, 2004; Lasseur, 2005). From his work in the early 1990s on the heterogeneity of farming practices, (van der Ploeg, 2010) introduced the concept of 'farming styles', which he defined as 'a distinctive and valid way of farming that is shared by a large group of farmers'. He saw it as a dynamic approach that included both material and symbolic dimensions. The concept of 'farming style' has a social dimension and represents communality, which contrasts with our 'systems of practice' concept, where the focus is on the individual (Vanwindekens *et al.*, 2013).

In the social and natural sciences, categorization and classification methods are commonly used to study diversity. Categorization is a supervised learning method that groups objects into pre-established classes. Classification, or clustering, is an unsupervised multidimensional type of analysis in which objects (or descriptors) are grouped into new classes, or clusters, based on certain variables (Legendre & Legendre, 1998, p.305). For the sake of clarity in this paper, we will call the classes of objects 'groups' when derived from categorization based on descriptive factors (geographical and technical factors) and 'clusters' when derived from clustering systems of practice.

In order to study the diversity of farmers' practices, we combined cognitive mapping and statistical methods for comparative and clustering analyses. Little previous work has been done on in this field. Mathevet *et al.* (2011) compared stakeholder groups involved in water management in the Camargue, France, based on the presence of certain variables in mental models. Özesmi & Özesmi (2003, 2004) proposed clustering stakeholder groups' social cognitive maps according to the variables they included. Ortolani *et al.* (2010) studied farmers' perceptions of agri-environmental schemes using a method

based on the presence of *variables* to compare and cluster farmers' cognitive maps.

Work we have conducted previously has shown that farmers tend to see their practices, why they use them and what effects they have in terms of *relationships* (Vanwindekens *et al.*, 2013). In applying CMASOP, the relationships identified in farmers' open-ended interviews form the basis of their cognitive maps (Vanwindekens *et al.*, 2013). In the study reported here, the presence of relationships in farmers' cognitive maps was therefore a criterion in clustering the systems of practice. In this paper, we describe two complementary CMASOP modules : one focusing on a comparative analysis of the systems of practice, the other on clustering these systems of practice. We then apply these modules to a case study of forage management in grassland-based livestock farming systems in two regions of Belgium (Ardenne and Famenne) and compare the systems of practice by : (i) categorizing them according descriptive criteria (agroecological area, technical orientation of farms) ; (ii) clustering them according to the presence of relationships in the farmers' cognitive maps ; and (iii) clustering them according to the presence of variables in these cognitive maps.

8.2 Material and methods

CMASOP is a cognitive mapping approach used to analyse systems of practice in SES (Vanwindekens *et al.*, 2013). At its core are four steps : 1 - surveying the systems of practice ; 2 - coding the transcribed open-ended interviews ; 3 - creating individual cognitive maps (ICMs) ; 4 - creating social cognitive maps (SCMs). We added two steps to this : 3' (between steps 2 and 4) - categorizing or clustering the ICMs ; and 5 - conducting a statistical comparison of the SCMs (Figure 8.1). The 49 ICMs obtained from applying CMASOP to an analysis of forage management in the two Belgian grassland regions (Vanwindekens *et al.*, 2013) were used as inputs in the comparative analysis.

8.2.1 Step 3' : Partitioning the ICMs

a Categorization

Partitioning ICMs can be based on geographical (e.g., agroecological area, administrative regions) and technical (e.g., farm size, production type) criteria. In our case study, we created four binary partitions. One was based on a geographical criterion : agroecological region (two levels : Ardenne/Famenne, $n=28/21$). The other three were based on technical criteria commonly used in the typology of livestock farming systems in southern Belgium (Stilmant *et al.*, 1998; Hennart *et al.*, 2010) : presence of dairy cattle (two levels : presence/absence, $n=20/29$) ; presence of at least 5% of maize in the forage area (two levels : grass/maize, $n=22/27$) ; and stocking rate (threshold 1.7 LU/ha, two levels : low/high, $n=13/36$).

b Clustering

We used the presence of relationships in the ICMs to cluster them. The clustering process was divided in two stages : computing a dissimilarity matrix and then classifying individuals according to this matrix.

We computed the dissimilarity matrix of the systems of practice by using an asymmetrical coefficient for the analysis of binary data in Q-mode (Legendre & Legendre, 1998). The choice of Q-mode was determined by the objective of the clustering (i.e., individual farmers). The choice of an association measure relevant for binary data was determined by the nature of our data (presence/absence of relationships in the ICMs). We chose an asymmetrical coefficient because it was not relevant to view the absence of a relationship in two ICMs (i.e., negative matches) as an indication of resemblance. Negative matches were very common in our dataset as most of relationships ($n=86$) were cited only once : the ICMs contained an average of 11.8 ± 5.0 relationships out of the 166 observed relationships across all the ICMs. Taking into account the three configurations (a : presence-presence combination ; b : presence-absence combination ; and c : absence-presence combination), the

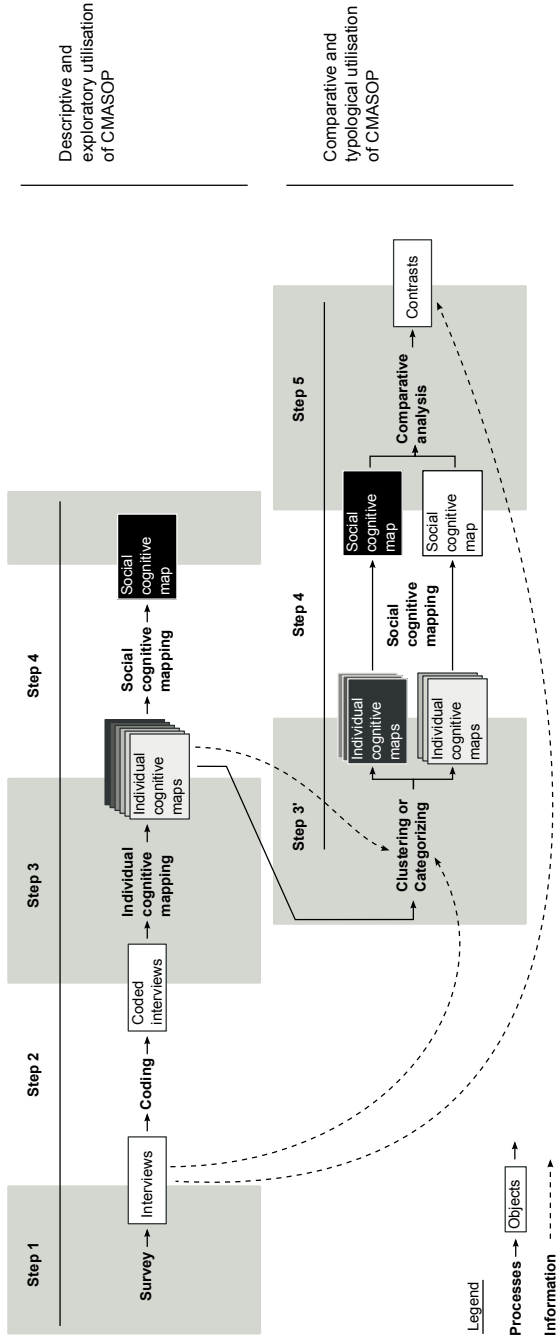


FIGURE 8.1 – In order to enhance the comparative and typological applications of CMASOP (Vanwinden *et al.*, 2013), the four-step semi-qualitative approach was supplemented by two steps (step 3', an intermediate step between steps 2 and 4; and step 5). The ICMs were grouped by categorizing (using information from the interviews) or by clustering (using information from the ICMs themselves). SCMs were computed for each group and cluster, and a pairwise comparison was conducted using the comparative analysis module. Significant differences were revealed, and retrieving the relevant interview excerpts linked to these differences improved our understanding of them.

Sorensen coefficient (Gower & Legendre, 1986) was computed by Equation 8.1 using R (ade4 package Dray & Dufour, 2007).

$$Coeff_{Sorensen} = \frac{2a}{2a + b + c} \quad (8.1)$$

We used fuzzy c-means clustering (Kaufman & Rousseeuw, 1990; Maechler *et al.*, 2011) to classify the 49 ICMs into two clusters. We chose fuzzy c-means clustering because of (i) the qualitative nature of the information in the ICMs and (ii) the human aspects of the decision-making processes and the practices. We divided the ICMs into only two clusters because of the limited number of ICMs in our study (n=49), and for the sake of clarity in demonstrating their use in the analysis.

8.2.2 Step 4 : Generating SCMs

For each group and cluster, the ICMs were aggregated into one (SCM), as described by Vanwindekens *et al.* (2013). Two SCMs were then generated for each partition.

8.2.3 Step 5 : Comparative analysis

A comparative analysis of the SCMs was conducted in order to identify similarities and differences in the systems of practice in the groups and clusters. The two SCMs generated for each partition underwent an automated pairwise comparison based on statistical tests of graph theory indicators : relationship weight and variables' indegree, outdegree and centrality.

a Relationship weight

For each ICM, the relationship weight was 1 (one) if the relationship had been cited at least once and 0 (zero) if it had not been cited. For each SCM, the relationship weight was the sum of the weights of this relationship in the ICMs

that made up that SCM (i.e., the number of interviewed farmers who cited this relationship at least once). Differences in relationship weights among the groups were determined using the Fisher Exact Test. The input for this test was a two-by-two contingency table with two modalities (relationship either present or absent) and two populations (two groups of farmers).

b Variables' indegree, outdegree and centrality

The centrality of a variable is the cumulative weight of relationships entering and leaving this variable. The weight can be divided into indegree and outdegree, the former referring to the cumulative weight of relationships entering the variable, the latter to the cumulative weight of those leaving it (Özesmi & Özesmi, 2004). In ICMs, the indicators of a particular variable are ordinal. The distribution of these indicators was compared between two groups of ICMs using the Mann-Whitney Test. The input for this tests was the distribution of indicators of ICMs by group. The output was a p-value that showed if there were statistical differences between the compared groups in the indegree, outdegree or centrality of a variable.

c Outputs of the comparative analysis and retrieval of citations

The output of Step 5 was a list of relationships and variables whose indicators demonstrated significant differences among the clusters. The semi-automated process built into our method allowed easy retrieval of citations linked to the identified differences. This tool was useful for interpreting the results and explaining differences in the relationships and variables among the clusters.

8.2.4 Comparison with another FCM clustering method

We compared our clustering method with the one developed by Özesmi & Özesmi (2003) and based on the presence or absence of variables in ICMs. This involved clustering the 49 ICMs according to the presence/absence of variables. To ensure consistency in our methodological choices, we used the

Sorensen coefficient to compute the dissimilarity matrix and the fuzzy c-means clustering technique, as before.

8.3 Results

8.3.1 Comparison of systems of practice categorized according to descriptive factors

The 49 CMs were partitioned according to four descriptive factors : one geographical criterion (agroecological area) and three technical criteria (maize coverage, stocking rate and dairy herd presence/absence).

a Categorization based on agroecological area

The partition based on agroecological area (Ardenne and Famenne) revealed significant differences for (i) two relationships and (ii) seven variables (Table 8.1 and Figures 8.2). That is, the weights of two relationships and the values of the indicators of seven variables differed significantly between the two areas. The total weight of the two relationships was 20, which was 3.4% of the total weight (580) of all the relationships in the study. The total centrality of the seven variables was 271, which was 23.4% of the total centrality ($580 \times 2 = 1,160$) of all the variables in the study. Significant differences in the relationships linking the 'weather', 'second cut' and 'soil type' variables are described here.

The relationship linking 'weather' to 'second cut' had significantly different weights in the two regions (Ardenne 2, Famenne 14, $p < 0.001$). Some graph indicators linked to these two variables also showed significant differences between the agroecological areas : outdegree and centrality of 'weather' (both $p < 0.05$) and indegree of 'second cut' ($p < 0.05$). Qualitative analysis of the citations from the Famenne farmers' interviews indicated that in their area the second cut was highly dependent on climatic conditions, especially on

TABLE 8.1 – Relationships and variables revealed by the comparative analysis based on agroecological area (Ar Ardenne, Fa Famenne; *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$)

	Ardenne n = 28	Famenne n = 21	p-value	signif
Weight of Relationships				
Weather → Second cut	2	14	$2.3e - 05$	Fa >Ar ***
Suckling herd → Cutting date	0	4	$2.8e - 02$	Fa >Ar *
Outdegree of Variables				
Weather	31	42	$2.4e - 02$	Fa >Ar *
Suckling herd	0	5	$1.8e - 02$	Fa >Ar *
Soil type	3	11	$2.3e - 02$	Fa >Ar *
Indegree of Variables				
Second cut	2	18	$3.7e - 06$	Fa >Ar ***
Forage and Feed purchase	6	0	$4.5e - 02$	Ar >Fa *
Third cut	2	8	$2.0e - 02$	Fa >Ar *
Centrality of Variables				
Weather	31	42	$2.4e - 02$	Fa >Ar *
Forage quantity	14	16	$3.6e - 02$	Fa >Ar *
Soil type	3	11	$2.3e - 02$	Fa >Ar *

rain occurring in early summer (July). The risk of drought typical of Famenne does not occur in the Ardenne highlands, which have a wetter climate.

The outdegree and centrality of the 'soil type' variable was significantly higher for farmers in Famenne than those in Ardenne. Analysis of a detailed graphical display of the SCM showed that 'soil type' was linked to other variables ('hay', 'plot utilization', 'third cut' and 'stocking rate') by relationships with a weight of 1 (i.e., cited by only one farmer). Citations linked to these relationships revealed the heterogeneity of soils in Famenne and showed that, in most of the cases, these soils are superficial and are characterized by weak water reserves, which increases the climatic risk of forage production in this area.

b Categorization based on technical factors

In the categorization of systems of practice based on the three technical criteria, we again compared differences in relationship weights (Table 2 and Figure 3) and in the values of indicators of variables (Table 3 and Figure 3). The partition based on 'maize coverage' revealed seven relationships with a total weight of 111 ($\Sigma w=111$; i.e., 19.1% of the total weight of all the relationships) and three variables whose total centrality was 148 ($\Sigma c=148$; i.e., 12.8% of the total centrality of all the variables). The partition based on 'stocking rate' revealed three relationships ($\Sigma w=42$, 7.2%) and five variables ($\Sigma c=235$, 20.3%). And the partition based on 'dairy herd presence/absence' revealed five relationships ($\Sigma w=69$, 11.9%) and five variables ($\Sigma c=13$, 11.5%). An exhaustive presentation of the results of the comparison is beyond the scope of this paper, but we can highlight some results (Tables 8.2 and 8.3) :

1. The centrality of the 'third cut' variable and the weight of the relationship linking 'weather' to 'third cut' were higher in maize farmers' ICMs because growing maize and harvesting a third grass cut are more suited to milder climatic conditions (Famenne).
2. The weight of the relationship linking 'first cut' to 'hay' was higher for forage producers, who tend to make hay from the harvest of the first grass cut. The weight of the relationship linking 'first cut' to 'silo' and

‘second cut’ to ‘hay’ was higher for maize farmers, who usually ensile the first cut and make hay from the second one.

3. The weight of the relationship linking ‘second cut’ to ‘silo’ was higher for farmers with high stocking rates, reflecting their tendency to ensile their second cut.
4. The centrality of the ‘growth stage of grass’ and ‘cutting date’ variables and the weights of relationships linking ‘weather’ to ‘cutting date’ and ‘hay’ were higher for farmers with low stocking rates, illustrating the importance of producing hay in the more extensive livestock farming systems.

c Comparison of the results from the partitions based on descriptive factors

From the four partitions based on descriptive factors (Figure 8.3), the ‘maize coverage’ partition produced the highest number of relationships with significantly different weights between the groups ($n=7$). The total weight of the revealed relationships ($\Sigma c=111$, 19.1%) was far higher than that in the three other partitions based on descriptive factors. These results indicate that, among the four factors tested, the ‘maize coverage’ factor had the greatest impact on grass forage management systems of practice.

The second most important factor in grass forage management was ‘dairy herd presence/absence’ ($n=5$, $\Sigma c=69$, 11.9%) and the third was ‘stocking rate’ ($n=3$, $\Sigma c=42$, 7.2%). The comparison of farmers according to agroecological area revealed the lowest number of relationships ($n=2$, $\Sigma c=20$, 3.4%), but the most significant differences.

The clustering methods applied to systems of practice revealed new partitions. The comparative analysis module was used to characterize the clusters.

TABLE 8.2 – Relationships revealed by the comparative analysis. Numbers in brackets refer to explanations in the text.

	Agroecological area	Maize in the forage area	Stocking rate	Presence of dairy cattle	Clustering based on relationships	Clustering based on variables
First cut→Silo	-	Ma >Gr * (2)	-	-	A1 >A2 ***	B1 >B2 *
First cut→Hay	-	Gr >Ma * (2)	-	-	A2 >A1 *	-
Second cut→Silo	-	-	Hi >Lo * (3)	Pr >Ab *	A1 >A2 ***	-
Second cut→Bale wrap	-	-	-	Ab >Pr *	A2 >A1 **	-
Second cut→Hay	-	Ma >Gr * (2)	-	-	-	-
Supplementation→Bale wrap	-	-	-	-	A1 >A2 *	-
Inputs price→Forage/Feed purchase	-	Gr >Ma *	-	-	-	-
Weather→Second cut	Fa >Ar ***	Ma >Gr *	-	-	-	-
Weather→Hay	-	-	Lo >Hi * (4)	-	-	-
Weather→Cutting date	-	-	Lo >Hi * (4)	-	A1 >A2 **	-
Weather→Third cut	-	Ma >Gr * (1)	-	-	-	-
Weather→Grazed area reduction	-	-	-	-	-	B2 >B1 *
Plot-farm distance→Plot utilization	-	-	-	-	-	B2 >B1 *
Plot-farm distance→Dairy cows	-	-	-	Pr >Ab *	-	-
Plot-farm distance→Meat cows	-	Gr >Ma *	-	Ab >Pr **	-	B2 >B1 *
Plot-farm distance→Yearlings	-	-	-	Ab >Pr **	-	B2 >B1 *
Suckling herd→Cutting date	Fa >Ar *	-	-	-	-	-
Third cut→Silo	-	-	-	-	A1 >A2 *	B1 >B2 **
Forage quantity→Cutting date	-	-	-	-	-	-
Forage quality→Cutting date	-	-	-	-	-	-
Topography→Plot utilization	-	-	-	-	A2 >A1 *	-

TABLE 8.4 – Variables revealed by the comparative analysis (Clusters)

	Clustering based on relationships			Clustering based on variables		
	Indegree	Outdegree	Centrality	Indegree	Outdegree	Centrality
First cut	-	-	-	-	B2 > B1 *	-
Second cut	-	-	-	-	-	-
Third cut	-	-	-	B1 > B2 **	-	B1 > B2 *
Supplementation	A1 > A2 *	-	A1 > A2 *	-	-	-
Forage and Feed purchase	-	-	-	-	-	B2 > B1 *
Bale wrap	-	A2 > A1 *	A2 > A1 *	-	-	-
Forage maize	-	-	A2 > A1 *	-	-	-
Hay	-	-	A2 > A1 *	-	-	-
Silo	-	A1 > A2 ***	A1 > A2 ***	-	B1 > B2 *	-
Plot utilization	-	A2 > A1 *	-	-	B2 > B1 ***	B2 > B1 ***
Permanent grassland	-	-	-	-	-	-
Alfalfa	-	-	-	-	-	-
Dairy cows	-	-	-	-	-	-
Meat cows	-	-	-	-	-	-
Pregnant cows	-	-	-	-	-	-
Suckling herd	-	-	-	-	-	-
Yearlings	-	-	A2 > A1 *	-	-	-
Soil type	A2 > A1 *	-	-	B2 > B1 **	B2 > B1 **	B2 > B1 **
Plot-farm distance	-	-	-	B2 > B1 **	-	B2 > B1 **
Forage quality	-	-	-	-	-	-
Forage quantity	-	-	-	-	-	-
Animal health	-	-	-	-	-	-
Growth stage of grass	-	-	-	-	-	-
Cutting date	-	-	-	-	-	-
Topography	-	-	-	-	-	-
Weather	-	-	-	-	-	-
Autonomy	-	-	-	-	-	-

8.3.2 Comparison of systems of practice clustered according to ICM content

Each clustering exercise partitioned the ICMs into two clusters. The two clusters based on relationships revealed by the ICMs were labelled A1 (n=24) and A2 (n=25). The two clusters based on variables revealed by the ICMs were labelled B1 (n=21) and B2 (n=28).

a Comparison of systems of practice clustered according to relationships

A comparison of the results from (i) the comparative analyses applied to the categorization method (descriptive factors) and (ii) the comparative analyses applied to the clustering method showed that the clusters based on farmers' ICMs did not match the geographical or technical factors. Most of the factors (agroecological area, forage management and stocking rate) were not significantly different between the clusters. Only with the 'dairy herd presence/absence' factor were there significant differences between clusters ($p\text{-value} < 0.05$): farmers with dairy cattle were significantly more present in cluster A1 (n=14) than in cluster A2 (n=6).

We compared the SCMs of clusters A1 and A2 using the comparative analysis module (Tables 8.2, 8.4 and Figure 8.3). Eight relationships and six variables were significantly influenced by the systems of practice clusters. The total weight of the eight revealed relationships was 132 (22.8% of the total weight of all the relationships) and the total centrality of the six revealed variables was 322 (27.8% of the total centrality of all the variables).

The revealed relationships and variables in the SCMs (Figures 8.4 and 8.5) showed that five of the relationships were directly linked to harvesting and grass conservation modes, thus linking cutting operations (first, second or third cuts) to conservation modes (silage, hay, bale wrap). The weights of the relationships linking the three cutting operations to silage were all significantly higher in the SCM of cluster A1 ($p < 0.001$, $p < 0.001$ and $p < 0.05$ for the 'first cut', 'second cut' and 'third cut', respectively). The centrality of the 'silage' variable for farmers in this cluster ($p < 0.001$) was also significantly higher. In

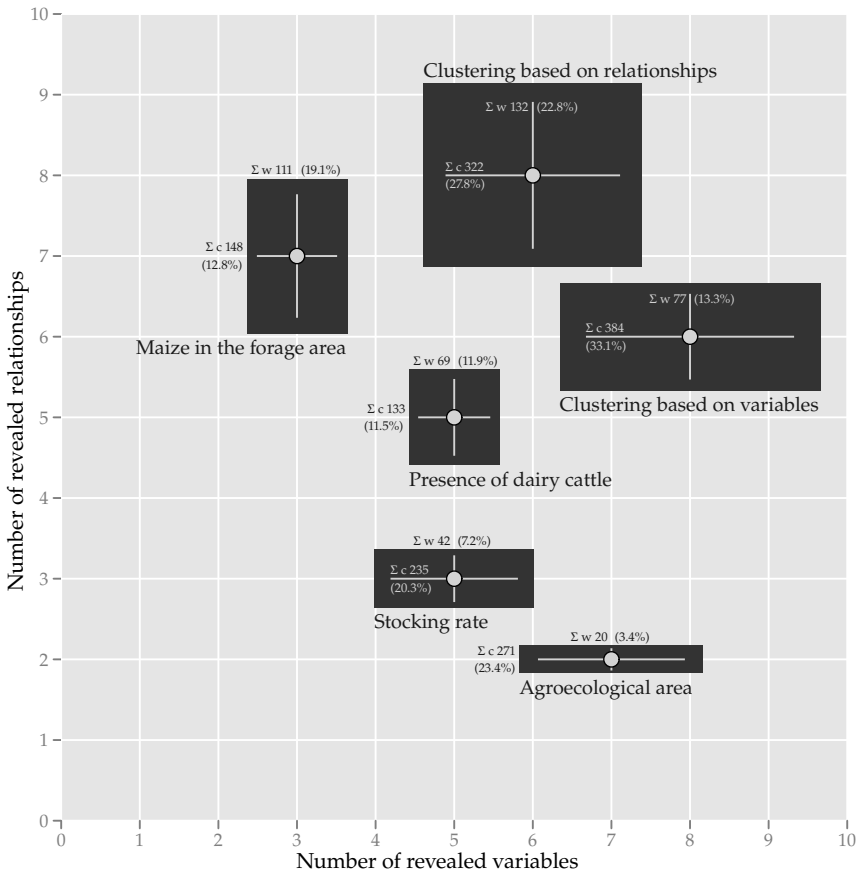


FIGURE 8.3 – General characteristics of relationships and variables revealed by the comparative analysis are symbolised by boxes. The centre of each box shows the number of revealed relationships (on the y axis) and variables (on the x axis). The dimensions of each box show the total weight of revealed relationships (Σw , on the y axis) and the total centrality of revealed variables (Σc , on the x axis). One unit of coordinates corresponds to 10 % of the total weight of all the relationships (i.e., 580) and to 10% of the total centrality of all the variables (i.e., 1,160). Within the 100 grey units of the plotting area (100%), the area of each box is exactly proportional to the revealed relationships and variables in terms of weight and centrality, respectively. We provide some quantitative information near the box dimensions.

contrast, the weights of the relationships linking 'first cut' to 'hay' ($p < 0.05$) and linking 'second cut' to 'bale wrap' ($p < 0.01$) were significantly higher in the SCM of cluster A2. There was also significantly higher centrality of the 'bale wrap' and 'hay' variables for farmers in cluster A2 ($p < 0.05$).

Two of the relationships concerned motivations behind technical choice. The first one, linking 'supplementation' to 'bale wrap', was significantly higher for cluster A1 ($p < 0.05$). The centrality of the 'supplementation' variable was also higher for cluster A1 ($p < 0.05$). The need for forage supplementation was an important reason for conserving forage in bale wraps for farmers in cluster A1. The second relationship, linking 'weather' to 'cutting date', was also significantly higher in the SCM of cluster A1 ($p < 0.05$).

The relationship linking 'topography' to 'plot utilization' under grazing or cutting schemes reflected ecological constraints (i.e., steeply sloping lands). This ecological constraint was cited more often by farmers in cluster A2 ($p < 0.05$) than those in A1.

In summary, the systems of practice used by farmers in cluster A1 were based on silaging their grass, whereas bale wrapping and hay production were the preferred conservation modes for farmers in cluster A2. There were differences in the ecological and technical constraints (topography, weather, supplementation and suckling herd) cited by farmers in these clusters that explained their choices (cutting date, plot utilization and conservation mode).

b Comparison of systems of practice clustered according to variables

In this section we outline the results of clusters comparison based on the presence of variables in ICMs, as proposed by Özesmi & Özesmi (2003). The comparative analysis showed that :

- the weights of six relationships were significantly different in clusters B1 and B2; these relationships had a total weight of 77 (13.3%) (Table 8.2 and Figure 8.3).
- the values of the indicators of eight variables were significantly different in clusters B1 and B2; these variables had a total centrality of 384 (33.1%) (Table 8.4 and Figure 8.3).

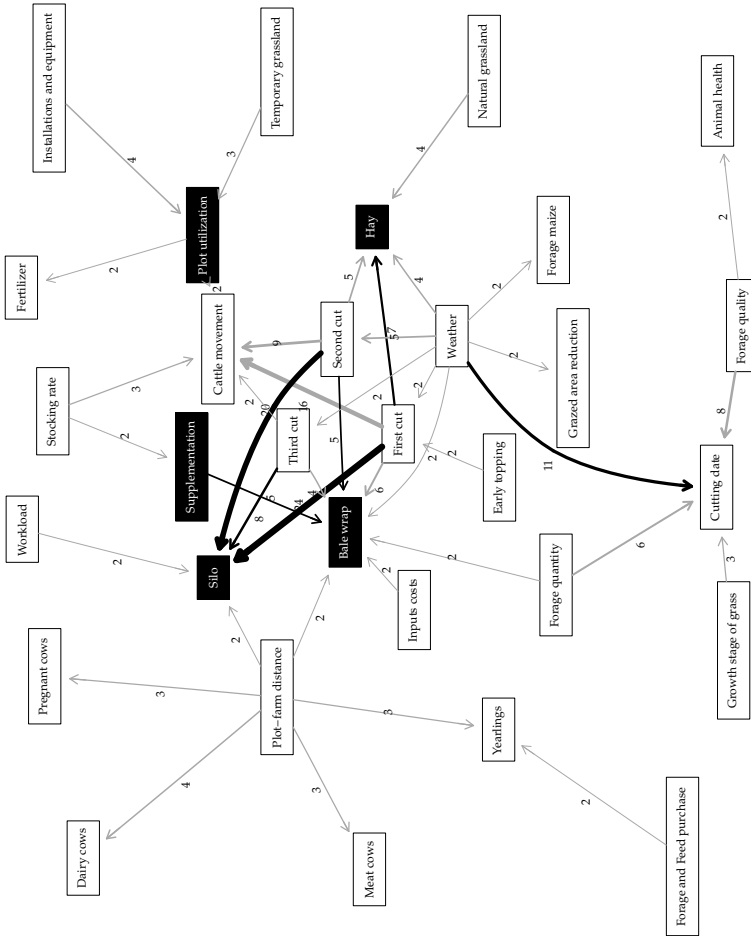


FIGURE 8.4 – Relationships and variables revealed in the SCMs of clusters based on relationships (Simplified SCM of the cluster A1)

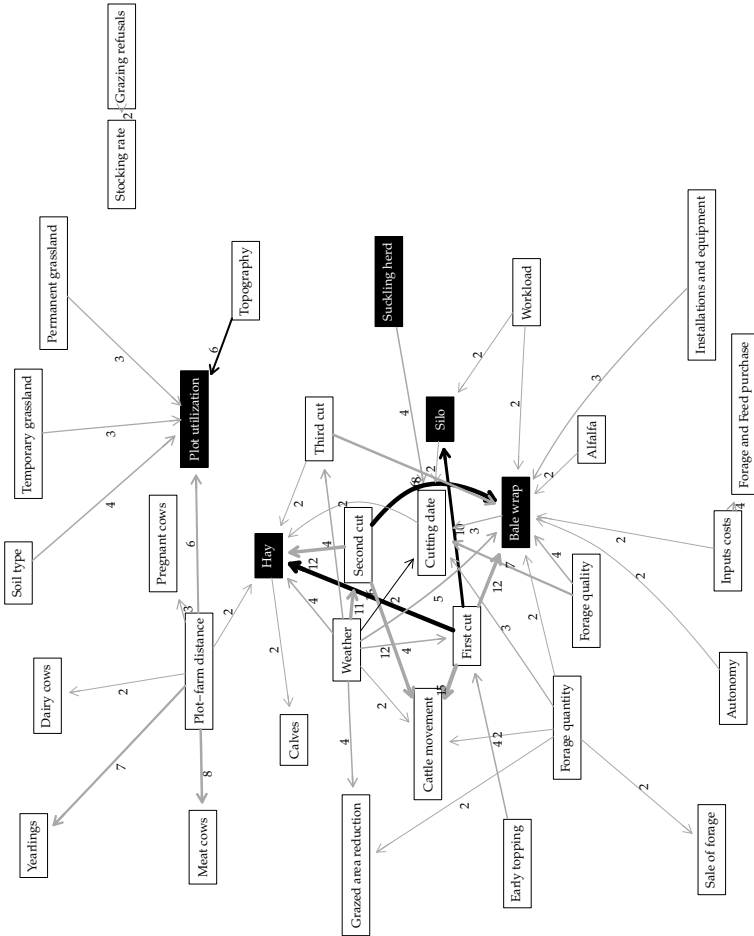


FIGURE 8.5 – Relationships and variables revealed in the SCMs of clusters based on relationships (Simplified SCM of the cluster A2)

The highest values of significantly different indicators were found mainly in one cluster : 14 in B2, but only 5 in B1.

8.4 Discussion

In this section we discuss the main features, strengths and limitations of the comparative and typological applications of CMASOP. We also look at further developments of this approach.

The CMASOP comparative analysis module was successfully used to reveal differences in farmers' systems of practice. The relationships and variables shown to be significantly different among groups of farmers were specific to each tested partition of the set of ICMs. For each comparison, the combination of qualitative and semi-quantitative tools provided by CMASOP (Vanwindenkens *et al.*, 2013) was helpful in understanding, describing and characterizing the systems of practice used by each group/cluster of farmers.

The clustering approach classified farmers according to their systems of practice as revealed by the ICMs. The comparative analysis applied to the clustering results provided a complete characterization of the systems of practice in the two clusters and an understanding of what set them apart. In applying these approaches in our case study, we noticed that the clusters did not match any of the partitions based on the four descriptive factors. The clusters tended to distinguish themselves in terms of the method chosen to conserve harvested grass, which was central to the studied issue (grass forage management). This key parameter has not been used before in typologies of livestock farming systems in Belgium (Stilmant *et al.*, 1998; Hennart *et al.*, 2010) or abroad (Maseda *et al.*, 2004).

The results from the comparative analyses and the clustering demonstrated the diversity of the systems of practice. Previous studies of this diversity had been based on the concept of farming style (van der Ploeg, 1994; Vanclay *et al.*, 2006). Most studies on diversity in farming systems have relied on classification based on expert knowledge (Perrot, 1990; Landais, 1998; Schmitzberger *et al.*, 2005). One limitation of these studies was that they threw lit-

the light on why farmers chose to implement the practices they did (Girard, 2006). The reasons underlying farmer practices have been studied, however, by agro-sociologists and rural anthropologists (Darré *et al.*, 2004; Lasseur, 2005; Farmar-Bowers & Lane, 2009). These social science studies have produced interesting and complete monographs that show a deep and holistic understanding of farming systems of practice, but they are time-consuming and require great skill, which restricts the number of farmers they can survey.

An original aspect of CMASOP is that it uses a semi-automated method to define systems of practice based on farmers' own perceptions as voiced during qualitative open-ended interviews. The method allows data to be collected from a sample broad enough to establish a typology, while retaining the inductive character of anthropological studies. It is based on farmer knowledge and caters for the complexity of their systems of practice.

The CMASOP clustering module is based on a distance measure depending on the presence/absence of relationships. In comparison with the clustering of cognitive maps based on the presence/absence of variables (Özesmi & Özesmi, 2003, 2004; Ortolani *et al.*, 2010), our results showed that, overall, the weights of revealed relationships were higher in relationship-based clustering ($n=8$, $\Sigma w=132$) than in variable-based clustering ($n=6$, $\Sigma w=77$), whereas the centrality of revealed variables was slightly lower in relationship-based clustering ($n=6$, $\Sigma c=322$) than in variable-based clustering ($n=8$, $\Sigma c=384$). The relationship-based clustering of farmers therefore seems more suited to creating a typology of systems of practice linked to the studied issue.

Two arguments support our approach. The first is that modelling systems of practice is based on a systems approach. In this approach, relationships between elements are fundamental. As defined by von Bertalanffy (1968), a system is a set of elements that are interrelated among themselves and with their environment. The second argument is that relationships are the basic elements of a cognitive map, with each relationship incorporating the information of the two variables it links : source and sink variables.

A drawback of using relationships for comparing systems of practice is that the number of instances of an absence of relationships is high. This issue is related to the double-zero problem (negative matches) for computing asso-

ciation measures (Borcard *et al.*, 2011, pp 32–33). With our method, if a farmer did not cite a relationship when talking about his farming system, this did not imply that this relationship did not exist in his system. In comparing systems of practice, therefore, the absence of a relationship in two ICMs cannot be seen as an indication of similarity between them. This is why we used an asymmetrical coefficient for computing dissimilarities in the relationship-based clustering of systems of practice.

For our study we used an elementary system of practice (forage management in grassland-based livestock farming systems) to illustrate our approach. This system focuses mainly on the technical operations of cutting, conserving and preparing grass forage. We recognize that, in this example, the farmers' perceptions of their own practices and the diversity of factors influencing these practices (e.g., technical, social, economic) were quite simple (Vanwindekens *et al.*, 2013).

Most practices in farming systems are greatly influenced by social and economic factors and shaped by farmers' perceptions and preferences. The integration of these factors into a study of systems of practice increases the level of complexity. With CMASOP, more complexity leads to more concepts and more relationships between the concepts. One way to address this is to aggregate detailed concepts (during the coding process or after the initial analysis) into one more general concept, in order to limit their number. Using fewer concepts potentially increases a researcher's influence on the interpretation of farmer interviews. It will also affect the nature of relationships because a single relationship embodies a diversity of meanings in a single descriptor. However, because of its automated nature and ease of implementation, the potential of the proposed method lies in its flexibility as to what to explore and how to do it. For example, the relevance of methodological choices, such as aggregating concepts, can be explored *a posteriori* using the method's citation-retrieving module.

The method is designed to be just as efficient in identifying groups in very homogeneous systems as it is in identifying key differences. It is a highly sensitive method, but this sensitivity can be modified by simplifying the coding process or focusing on a subset of concepts. In our case study, the ability to find a relevant and original typology with a simple descriptor such as forage

management was a promising indication of the conceptual strength of the method.

From a methodological perspective, the limited size of our sample ($n=49$) led us to cluster our 'population' into two groups. In extensive surveys of farmers' systems of practice, the sample could just as easily be partitioned into three or more clusters. Further methodological developments could include an automated determination of the number of clusters, and using clustering methods to detect 'outliers' (i.e., farmers with original systems of practice that are of interest in the search for innovative systems) (Geels & Schot, 2007).

8.5 Conclusion

Our study on the diversity of systems of practice used by farmers was based on information that those farmers provided in interviews. We developed two complementary applications of our cognitive mapping-based approach known as CMASOP : a comparative analysis module and a clustering module. The results showed that our method was suitable for revealing significant differences between systems of practice used by farmers categorized according to various descriptive factors. The partitioning of farmers depending on their systems of practice differed from the partitioning based on these factors. When applied to clusters, the comparative analysis module revealed significant differences in practices (grass conservation mode, grass forage preparation) more closely related to the studied issue (in this study, grass forage management) than was the case when it was applied to groups categorized by descriptive factors. Future work is needed to assess the relevance of using the semi-automated clustering method for identifying and describing farming styles within a farming community.

Conclusion du chapitre

C E CHAPITRE présente une étude de la diversité des systèmes de pratiques développés et/ou adoptés par les agriculteurs. Cette étude se base sur des informations collectées auprès de ces agriculteurs lors d'entretiens semi-dirigés. À cette fin, nous avons développé deux modules complémentaires de notre approche, CMASOP : un module d'analyse comparative et un module de classification.

Les résultats ont montré que l'approche permet de mettre en lumière les différences significatives entre les systèmes de pratiques de groupes agriculteurs classés selon divers critères techniques. La classification des éleveurs en fonction de leurs systèmes de pratiques ne correspond pas aux groupes basés sur ces critères techniques. L'analyse comparative appliquée aux résultats de cette classification révèle des différences qui sont significativement plus importantes et plus proches de la question étudiée (la gestion des fourrages herbagers) que dans le cas de l'approche basée sur les facteurs descriptifs.

Une perspective de la méthode réside dans la mise en place d'une approche semi-automatique pour l'identification et la description des *farming styles*¹ au sein d'une communauté d'agriculteurs.

1. au sens de van der Ploeg (1994)

QUATRIÈME PARTIE

*

DISCUSSION GÉNÉRALE
& PERSPECTIVES

SOMMAIRE

9.1	Critique générale de l'approche méthodologique développée	201
9.1.1	Critères de qualité	202
a	Crédibilité	202
b	Transférabilité	203
c	Fiabilité (<i>dependability</i>)	203
d	Confirmabilité	204
9.1.2	Utilisations pratiques	204
a	L'intégration des savoirs locaux	204
b	Une typologie des agents basée sur leurs pratiques	205
9.1.3	Limites de l'approche développée	206
a	Temps	206
b	Aspects dynamiques	207
9.1.4	Perspectives : l'étude de l'adaptabilité et de la résilience	207
9.2	Modéliser les pratiques	209
9.2.1	Introduction	209
9.2.2	Discussion	211
a	Modéliser de manière inductive	211
b	Rendre compte de la complexité des pratiques	212
c	Modéliser semi-qualitativement	213
d	Rendre procédurale la construction de modèles	214
9.2.3	Ancrage	214
9.2.4	Perspectives	215
9.3	Caractériser la diversité des pratiques	216
9.3.1	Introduction	216
9.3.2	Discussion	216
a	Objectiver certaines intuitions qualitatives	217
b	Automatiser l'exploration de données	217
c	Classifier à partir des relations des cartes cognitives	218
9.3.3	Ancrage	220
9.3.4	Perspectives	220
9.4	Caractériser les capacités d'adaptation	222
9.4.1	Introduction	222
9.4.2	Discussion	223

DISCUSSION GÉNÉRALE

Introduction

LA DISCUSSION GÉNÉRALE est structurée en deux parties : d'abord nous discuterons les développements méthodologiques réalisés, ensuite, nous discuterons de manière plus particulière les avancées autour des trois objectifs opérationnels de la thèse (chapitre 3, p.45) :

1. *Modéliser* de façon inductive et semi-quantitative les *pratiques*
2. Révéler et caractériser la *diversité* des pratiques au sein des systèmes agraires
3. Révéler et caractériser les *capacités d'adaptation* des agriculteurs dans un contexte incertain et évolutif

Ces objectifs opérationnels ont chacun contribué à la réalisation de notre objectif général : Construire une méthode d'*analyse systémique* des *pratiques* dans les *systèmes agraires* pour l'étude (i) des *capacités d'adaptation* des agriculteurs dans un *contexte évolutif et incertain*, (ii) de la *résilience* de leur exploitation.

9.1 Critique générale de l'approche méthodologique développée

Dans cette première section, nous discutons l'approche méthodologique développée dans son ensemble. La discussion spécifique des trois objectifs de la thèse fait l'objet des trois sections suivantes (9.2, 9.3, 9.4).

9.1.1 Application des critères de qualité dans notre approche

Cette section de notre discussion vise à évaluer la qualité de notre approche et l'adéquation entre, d'une part, les résultats qu'elle a générés et, d'autre part, la réalité du terrain.

a Crédibilité

Différents aspects qui fondent la méthode permettent d'assurer la crédibilité de notre approche scientifique et des résultats qui découlent de son application.

D'abord, notre approche exige un engagement prolongé du chercheur sur le terrain via la conduite de nombreux entretiens qui sont :

- eux-mêmes exigeants en temps (≈ 2 h00 par entretien) ;
- réalisés face-à-face, en présence des sources ;
- réalisés au sein même des exploitations.

Le fait de réaliser les entretiens en face-à-face au sein même des exploitations donne l'occasion de réaliser un tour de l'exploitation et du systèmes socio-écologiques gérés par l'acteur.

Une deuxième stratégie est la mise en place d'une technique d'échantillonnage raisonnée (*snowball sampling*) qui visent à maximiser la diversité des profils des agents, dans leurs structures et dans leurs visions. Cela permet une certaine triangulation des informations collectées.

Enfin, notre approche est semi-qualitative (et donc semi-quantitative) et les phases requérant une interprétation des données sont limitées. Ces phases constituent cependant le cœur de l'approche et ont une influence sur l'ensemble de l'analyse. La crédibilité peut être assurée en couplant la phase d'interprétation à une phase d'exposition et de discussion avec des pairs (promoteurs de la recherche, comité d'accompagnement, séminaire de recherche entre collègues).

b Transférabilité

Les stratégies envisagées pour assurer la transférabilité de nos résultats et de notre approche sont liées aux phases de l'enquête (Guba, 1981) :

1. la réalisation d'un échantillonnage raisonné (*snowball sampling*, voir section 5.1.1), qui permet, à défaut d'assurer une représentativité de l'échantillon, de maximiser la diversité des informations découvertes ;
2. la collecte de données précises (caractéristiques de la structure de l'exploitation : superficie, cheptel, main d'œuvre, produits) qui concernent le contexte dans lequel l'étude est menée et qui rendent possible la comparaison de ce contexte avec le contexte d'autres études potentielles ;
3. la description précise (*thick description*) de ce contexte sur base des données collectées. Dans le cas des pratiques dans la gestion des systèmes socio-écologiques, cela implique, notamment, la description précise du fonctionnement et de la structure des exploitations (sections 6.2 et 6.3).

c Fiabilité (*dependability*)

L'approche développée n'intègre pas des procédures et des stratégies qui visent spécifiquement à asseoir sa fiabilité comme (voir section 5.4, pages 106 et suivantes) :

- l'utilisation de méthodes qui se chevauchent (*overlap methods*) ;
- la réplication des procédures (*stepwise replication*) entre des équipes distinctes mais qui communiquent entre elles aux différentes étapes (récolte, analyse, interprétation).

Par contre, la thèse défendue dans ce manuscrit intègre à la fois (i) une description complète et précise des phases de la recherche tant au niveau épistémologique (section 3.1.4), notamment en inscrivant notre démarche dans le paradigme pragmatiste, qu'opérationnel, en détaillant le contexte de l'enquête et l'enquête elle-même (chapitre 6) et (ii) une discussion des méthodes et des résultats de l'étude de cas (chapitre 9).

d Confirmabilité

Notre approche assure la confirmabilité des résultats issus de son application au cas d'étude de par :

- son caractère semi-qualitatif et semi-quantitatif qui limite les étapes où la subjectivité du chercheur pourrait influencer trop les résultats ;
- le lien qui est maintenu durant tout le processus de traitement et d'analyse avec les données de base, c'est-à-dire les séquences des entretiens retranscrits. La consultation de ces données de base est d'ailleurs une étape à part entière de l'analyse des résultats et de la description des systèmes de pratiques (voir section 5.2.3).

9.1.2 Utilisations pratiques de l'approche développée

a L'intégration des savoirs locaux

Un intérêt pratique de notre approche réside dans sa capacité à représenter les savoirs locaux.

Dans le domaine de l'étude des ressources naturelles, la prise en compte des savoirs locaux (*traditional ecological knowledge*) est de plus en plus considérée comme un bénéfice, voir un prérequis essentiel, pour les étudier ou pour les gérer (Huntington *et al.*, 2004). Cependant, Huntington (2000) relève les difficultés communément associées à la prise en compte de ces savoirs et à leur association aux savoirs scientifiques : (i) connaissances non écrites, souvent implicites et peu formalisées, et (ii) chercheurs en écologie et en agronomie peu familiers avec les sciences sociales.

L'approche proposée dans cette thèse comble, au moins en partie, ces difficultés. Premièrement, elle repose sur le traitement très ouvert du discours des agents. Elle n'exige pas que ces savoirs soient formalisés. Deuxièmement, elle est procédurale et, donc, accessible à des chercheurs en sciences de la nature (écologie, agronomie) généralement plus à l'aise avec des outils techniques. De ce point de vue, notre approche offre un net avantage par rapport aux

méthodes proposées dans la littérature, notamment en ethnologie ou en anthropologie et donc impliquant une maîtrise des outils des sciences sociales (Berkes *et al.*, 2000; Huntington, 2000; Huntington *et al.*, 2004).

b Une typologie des agents basée sur leurs pratiques

Un deuxième intérêt pratique de la méthode réside dans la possibilité de réaliser une typologie des agents basée sur leur discours et donc ancrée dans leurs propres conceptions. Dans la littérature, les méthodologies de typologies ont été particulièrement développées dans le contexte agricole, particulièrement en France (Landais *et al.*, 1988; Perrot, 1990; Perrot *et al.*, 1995; Landais, 1998; Maton *et al.*, 2005), mais aussi dans les pays en développement (Tittonell *et al.*, 2005, 2010), en Wallonie (Stilmant *et al.*, 1998; Hennart *et al.*, 2010) et dans le monde anglo-saxon (Smit & Skinner, 2002; Whatmore *et al.*, 1987).

Parmi les méthodologies développées, Maton *et al.* (2005) distinguent deux courants principaux :

- le premier courant s'inscrit dans le paradigme positiviste. Il utilise des méthodes statistiques pour traiter des données préexistantes qui concernent essentiellement la structure des exploitations. Ces typologies correspondent donc plus à des typologies de structure (*e.g.* Caballero, 2001, Mignolet *et al.*, 2001, Kobrich *et al.*, 2003 in Maton *et al.*, 2005) ;
- le deuxième courant dans lequel les classes sont identifiées sur base des connaissances d'experts (*e.g.* Perrot and Landais, 1993 ; Landais, 1998 ; Girard *et al.*, 2001 in Maton *et al.*, 2005) s'inscrit dans le paradigme constructiviste (selon les auteurs de l'article). Les informations des experts peuvent concerner le fonctionnement des exploitations et les pratiques des agriculteurs. Ces méthodes sont donc un moyen d'obtenir des typologies de fonctionnement.

Notre approche offre une troisième voie qualifiée de pragmatique (voir section 3.1). Elle se base sur une combinaison de méthodes (entretiens semi-dirigés, traitement semi-quantitatif, analyses statistiques) et permet d'obtenir une typologie des exploitations sur bases de leur pratiques telles qu'elles sont

décrites par ceux et celles qui les adoptent. Elle ne permet certainement pas de représenter précisément le fonctionnement d'une exploitation, mais peut en donner un aperçu qui pourrait s'avérer particulièrement pertinent dans des contextes où les connaissances expertes sont peu présentes. Et elle peut, de plus, être combinée à d'autres approches pour répondre à des besoins plus spécifiques : avis d'expert (Landais *et al.*, 1988), représentations schématiques du fonctionnement des exploitations (Moulin *et al.*, 2001; Moulin, 2006).

9.1.3 Limites de l'approche développée

Notre approche est originale et elle présente un intérêt pour la modélisation des pratiques. Cependant, comme tout travail méthodologique et exploratoire, elle présente certaines limites que nous discutons ici.

a Temps

Malgré son avantage par rapport à d'autres méthodes qualitatives en sciences humaine, notre approche reste fort coûteuse en temps (*time consuming*) : essentiellement les phases d'entretiens semi-dirigés (un demi homme.jour), de retranscriptions (un homme.jour pour 2h00 d'entretien) et de codage (un demi homme.jour).

Par rapport à l'application que nous avons faites de notre approche, une manière de diminuer le temps de récolte et de traitement des données serait de cadrer plus l'entretien autour des pratiques d'intérêt. Nous avons en effet réalisé, pour chaque ferme, un entretien sur le fonctionnement de l'ensemble de l'exploitation mais nous n'avons, finalement, traité en détails que la partie de l'entretien en lien avec la gestion des prairies. Il nous semble cependant que le temps passé en ferme, les échanges avec les fermiers et les informations d'un caractère global participent à l'interprétation ultérieure des résultats et donc à la qualité de l'étude.

Une autre piste serait d'optimiser le nombre d'entretiens à réaliser sur base de la saturation du matériau. Par ailleurs, selon diverses sources (Özesmi &

Özesmi, 2004; Fairweather, 2010; Marcel Mazoyer, communication personnelle), une trentaine d'entretiens devrait suffire pour un caractère la diversité des pratiques au sein d'un système agricole. Ce nombre est légèrement inférieur au nombre d'entretiens réalisés dans le cadre de notre recherche et confirmé par l'analyse de la saturation de notre matériau faite *a posteriori*.

b Aspects dynamiques

Les systèmes socio-écologiques sont marqués par un caractère fortement dynamiques, de même que les pratiques des agents qui en ont la gestion au cours d'une saison et au fil des saisons. Notre méthode, telle qu'elle est décrite et telle qu'elle a été appliquée, est peu encline à rendre compte des phénomènes dynamiques. Nous avons identifiés deux éléments qui sont à l'origine de cette carence.

Le premier élément est que notre approche ne rend pas compte d'une dimension essentielle de la complexité des systèmes socio-écologiques : le temps. La deuxième est que notre approche ne permet pas de représenter les flux physiques et économiques qui font partie intégrante des systèmes de pratiques et pour lesquels les connaissances sont approfondies : flux de matières, d'énergie, financiers . . . Une piste de réflexion pour palier le premier élément serait, par exemple, la réalisation de cartes cognitives représentant les systèmes de pratiques des agriculteurs à intervalles réguliers. Une perspective qui semble prometteuse pour palier chacun de ces éléments serait le couplage de notre approche avec d'autres méthodes de modélisation : équations différentielles, théorie des réseaux. L'intérêt de coupler notre approche avec les outils issus de la théorie des réseaux, notamment en écologie, est développée dans la section suivante qui présente, de manière générale, les perspectives de notre recherche.

9.1.4 Perspectives : l'étude de l'adaptabilité et de la résilience

Un des objectifs de la thèse était l'étude de l'adaptabilité, ou capacité d'adaptation, des agents pour gérer leur systèmes socio-écologiques en conditions

d'incertitudes. Cet objectif, qui n'a pas été pleinement atteint, fait l'objet d'une discussion succincte à la section 9.4, et d'une approche exploratoire initiée et présentée au chapitre 10 (section 10.2).

Dans le sillage de l'étude des capacités d'adaptation des agents, la perspective d'utiliser l'approche développée pour étudier, documenter voire évaluer la résilience¹ est apparue assez tôt dans notre recherche, en puisant notamment notre inspiration de l'article de Kasper Kok (2009). Dans cette perspective, des développements ont été entrepris au sein d'une deuxième approche exploratoire. Si cette approche est présentée et discutée de manière détaillée au chapitre 10 (section 10.3), nous évoquons ici un des points qui nous semble particulièrement intéressant en ce qui concerne les perspectives de notre approche : l'utilisation de la théorie des réseaux pour l'étude de la résilience.

Ces dernières années, la caractérisation et le développement de la résilience des systèmes socio-écologiques face à un type d'aléas de nature connue sont bien documentées dans la littérature scientifique (Walker *et al.*, 2009; Carpenter *et al.*, 2011). Dans ces situations, les événements sont bien étudiés et, malgré leur caractère aléatoire, sont liés à des risques qui peuvent être calculés : tempêtes, tremblements de terre, inondations, feux. On parle de résilience spécifique. Les réflexions récentes sur la résilience invitent les chercheurs à explorer les moyens d'étudier et de développer la résilience des systèmes socio-écologiques face à des chocs totalement imprévisibles de par leur durée ou leur étendue (Carpenter *et al.*, 2012). Pour documenter cette résilience générale, les outils de modélisation traditionnels sont limités, et certains auteurs proposent de se tourner vers une combinaison de méthodes basées sur les réseaux : les réseaux dynamiques (réseaux sociaux) et les réseaux adaptatifs, développés dans le monde de la physique, semblent permettre d'intégrer des phases de transition et d'adaptation (Lade, 2013).

Les réseaux sont utilisés par ailleurs pour étudier (i) la complexité des relations trophiques dans les systèmes écologiques (Fath *et al.*, 2007; Ulanowicz *et al.*, 2014), (ii) en économie pour étudier l'interdépendance des industries

1. La résilience est la capacité d'un système à absorber les perturbations et à se réorganiser dans un environnement changeant de manière à maintenir toujours ses fonctions, sa structure et ses rétroactions, et de ce fait son identité (Folke *et al.*, 2010), voir présentation des concepts au chapitre 10 (section 10.1)

(Miller and Blair, 1985 in Fath & Patten, 1999) ou encore (iii) en sciences sociales, pour le cas des réseaux sociaux (Borgatti *et al.*, 2009). C'est également l'objet conceptuel que nous avons retenu pour modéliser les systèmes de pratiques, ce qui ouvre la voie à une possible intégration.

9.2 Premier objectif : Modéliser de façon inductive et semi-quantitative les pratiques

9.2.1 Introduction

Les agriculteurs doivent piloter leurs exploitations dans un environnement² marqué à la fois par des évolutions profondes et par de grandes incertitudes³ (Ascough *et al.*, 2008; McIntyre *et al.*, 2009). L'évolution rapide du contexte agricole, l'occurrence des crises ont amené une partie de la communauté scientifique à remettre en question la pertinence du modèle moderne de l'agriculture intensive (entre autres, Tilman *et al.*, 2002; Mazoyer & Roudart, 2002) et à identifier des pratiques et combinaisons de pratiques qui permettent d'accroître le caractère soutenable des systèmes agraires. Pour accompagner cette transition, il convient de comprendre le fonctionnement des *systèmes agraires* actuels dans leur ensemble et particulièrement leur gestion par les agriculteurs.

Dans les systèmes agraires, les agriculteurs jouent le rôle de centres décisionnels. Dans le but de pérenniser leurs exploitations, ils définissent des objectifs, développent des stratégies et élaborent des processus décisionnels. Pour cela ils sont influencés à la fois (i) par des éléments de leur environnement et (ii) par leurs propres conceptions de cet environnement.

Ces mécanismes de gestion sont complexes, difficilement accessibles par les chercheurs et pas toujours conscientisés par l'agriculteur. Pour les approcher, nous avons utilisé les *pratiques* des agriculteurs comme porte d'entrée,

2. social, économique & écologique

3. cfr. Introduction générale, p. 3

comme 'proxy'. Les pratiques peuvent être considérées comme la manifestation concrète des mécanismes complexes de gestion. Elles ont l'avantage de porter sur des opérations techniques aisément décrites par ceux et celles qui les adoptent. Si elles sont décrites qualitativement ('racontées') par les agriculteurs, elles permettent de rendre compte à la fois des éléments de l'environnement pris en considération par ceux-ci et de leurs propres conceptions.

Pour étudier les pratiques des agriculteurs, nous avons cherché à les modéliser⁴ suivant une méthode qui réunissait les propriétés suivantes :

- en partie *qualitative* et *inductive*, pour ancrer la modélisation dans le *discours* des agriculteurs
- en partie *quantitative*, pour pouvoir étudier les pratiques d'une communauté d'agriculteurs dans son ensemble et pour en évaluer la diversité : comparaisons, ...
- *semi-automatique*
 - dans la phase de *construction du modèle*, pour diminuer la charge de cette phase et augmenter ainsi la taille de l'échantillon analysable,
 - dans la phase d'*analyse des données*, pour traiter rapidement les données en des sens multiples, de manière non dirigée et donner ainsi à cette phase un caractère exploratoire.

En l'absence d'une méthode présentant ces propriétés, nous nous sommes attelés à la développer et nous avons considéré les développements méthodologiques pour y parvenir comme le premier objectif de la thèse.

Objectif 1

Modéliser de façon inductive et semi-quantitative les pratiques.

4. Dans notre travail, la notion de modèle est utilisée dans un sens assez large. Wilson (1984) en fait une définition qui reflète bien notre vision englobante : 'un modèle est l'interprétation et la représentation implicite (i) de la compréhension qu'une personne a d'une situation ou (ii) simplement des idées qu'elle se fait d'une situation à certaines fins. Il peut s'exprimer sous forme mathématique, de symboles ou de mots mais il est essentiellement une description d'entités et de relations entre elles. (Wilson, 1984 in Pearson & Ison, 1997).

9.2.2 Discussion

Nous avons atteint notre premier objectif en développant une nouvelle approche que nous avons proposé à la communauté scientifique. Cette approche est dénommée CMASOP, pour ‘Cognitive Mapping Approach for Analysing Systems Of Practices’. Elle est décrite explicitement au chapitre 5 et fait également l’objet d’une publication scientifique dans la revue *Ecological Modelling* (Vanwindekens *et al.*, 2013) reprise au chapitre 7 de ce manuscrit.

La notion de ‘système de pratiques’ a été proposée dans la littérature par Cristofini *et al.* (1978) comme indicateur fonctionnement des systèmes de production des agriculteurs, en analysant la combinaison des pratiques mises en œuvre, mais aussi les mécanismes de régulation et d’adaptation maniés pour préserver cette combinaison dans un environnement fluctuant. Dans le cadre de notre travail de recherche, nous avons repris cette notion pour établir empiriquement le système de pratiques de l’agriculteur au départ de ses dires.

a Une méthode de modélisation inductive

CMASOP est une méthode de modélisation inductive : les modèles des systèmes de pratiques sont uniquement construits à partir de données qualitatives collectées lors d’entretiens compréhensifs. Le caractère inductif de la modélisation dépend cependant de deux éléments : la conduite de l’entretien et le traitement des données.

La manière dont l’entretien est conduit a une influence directe sur le caractère inductif de la méthode. Plus l’entretien sera dirigé et les questions fermées, plus grande sera l’influence du chercheur dans les réponses et moins inductive sera la modélisation.

Le traitement des données, notamment au niveau du codage du matériau, peut également influencer le caractère inductif de la méthode. Le codage est considéré comme inductif car la liste des codes (concepts et relations utilisés) n’est pas établie *a priori*, mais au fur et à mesure des entretiens. Cependant, le codage implique, de la part du chercheur, une certaine interprétation des paroles de l’agriculteur, une ‘conceptualisation’ de ce qu’il exprime. Pour

évaluer la pertinence de l'interprétation des paroles, nous avons maintenu les liens entre les éléments du modèle (concepts, relations) et les paroles des agriculteurs qui les fondent. Cela nous a permis de développer le module 'retour aux citations' (*quotes retrieving*) utilisable lors de l'analyse des résultats. Dans le cas où la consultation *a posteriori* des citations révélerait un codage de pertinence limitée, la méthode est construite telle qu'elle permette l'adaptation aisée de ce codage soit (i) en agrégeant des concepts ou des relations trop précis soit (ii) en fragmentant un concept ou une relation trop général.

b Une méthode systémique rendant compte de la complexité des pratiques

Pour pouvoir intégrer la grande complexité des systèmes de pratiques, nous avons tenté de limiter fortement les contraintes imposées à la méthode de modélisation. De ce fait, CMASOP est une méthode qui permet de modéliser les pratiques sans trop en réduire la complexité. L'étape centrale de la modélisation, le codage des entretiens, implique une nécessaire réduction de la richesse de l'information qualitative, en conceptualisant la parole des agriculteurs. Cependant, la richesse de la méthode est qu'elle n'impose pas une granularité avec laquelle le texte doit être traité et interprété. Elle laisse une grande liberté au chercheur de l'adapter en fonction du sujet traité et des objectifs de chaque étude. Il convient toutefois de maintenir une grande cohérence de cette granularité au sein d'une même étude.

Nous avons cherché une méthode de modélisation simple et souple (peu de contraintes) pour représenter et analyser les systèmes de pratiques. Pour satisfaire ce critère, nous avons intégré à CMASOP le cadre et les outils de la cartographie cognitive (Özesmi & Özesmi, 2004; Fairweather, 2010). Dans ce cadre, la seule contrainte est de formuler le système de pratiques à l'aide de concepts mis en relations les uns avec les autres. Alors que traditionnellement, les relations d'une carte cognitive⁵ sont de nature causale, nous avons décidé de ne pas limiter la modélisation des pratiques à ce type de relations mais de l'ouvrir à d'autres : séquence d'opérations, résultat d'une opération,

5. parfois nommée d'ailleurs 'carte causale', *causal map* voir dans J. Fairweather (2010)

utilisation d'un objet (produit), condition ou *driver* pour une opération ou un produit, constat général.

c Une méthode semi-qualitative ... & semi-quantitative

Pour modéliser les pratiques, nous cherchions une méthode hybride, maniant des informations qualitatives au sein d'une structure à la fois qualitative et quantitative. À cette fin, nous avons considéré que la cartographie cognitive était pertinente : les cartes cognitives sont en effet des objets conceptuels hybrides, semi-quantitatifs. Elles peuvent être exprimées sous une forme graphique, un réseau de concepts, et sous une forme mathématique, une matrice.

Par rapport à la méthode originale proposée par J. Fairweather (2010) qui propose de modéliser les fermes à l'aide de carte cognitive réalisée directement avec les agriculteurs, notre méthode propose une alternative à la construction des cartes avec les éleveurs. Dans notre méthode, les cartes cognitives individuelles sont construites à partir d'une opération de codage des transcriptions d'entretiens. Cela permet de séparer la construction des cartes de l'entretien auprès des agriculteurs. On évite ainsi la tâche préliminaire et fastidieuse d'expliquer concrètement (i) ce qu'est une carte cognitive, (ii) la nature des concepts qui la constituent, (iii) la nature des relations qui relient les concepts et (iv) la pondération relative des relations.

Si notre construction des cartes facilite la phase de collecte des données, elle possède un effet rebond et reporte une partie de la difficulté sur la phase de codage du matériau. De plus, elle ne permet pas, à l'inverse de celle proposée par Fairweather (2010), de pondérer les relations dans les cartes individuelles sur base, par exemple, de leur importance pour les agriculteurs.

L'intérêt de l'aspect quantitatif du modèle des pratiques proposé réside dans la possibilité de créer aisément des cartes cognitives sociales à partir de l'agrégation de cartes cognitives individuelles. Cela permet d'avoir une vision d'ensemble sur les pratiques des agriculteurs d'une région ou d'un même type (orientation, *etc.*).

d Une méthode procédurale pour la construction du modèle

Une différence majeure entre les méthodes des sciences sociales et celles des sciences de la nature est, pour le chercheur, la gestion d'éléments perçus comme intuitifs dans l'analyse des données qualitatives en sciences humaines. Ancrés dans le monde des ingénieurs, nous proposons une méthode procédurale pour le traitement d'entretiens compréhensifs. Notre méthode, CMASOP, offre un cadre à la fois souple et semi-automatique pour l'analyse de données socio-techniques complexes. Le caractère souple de notre méthode basée sur la cartographie cognitive a été présenté ci-dessus. Son caractère procédural est lié au traitement 'phrase par phrase' ou 'idée par idée' de chaque entretien, au codage individuel de ces idées pour la construction 'brique par brique' du modèle des pratiques.

Le caractère procédural du codage des entretiens permet un traitement d'un nombre plus important d'entretiens par rapport à d'autres méthodes publiées dans la littérature (Lemery *et al.*, 2005; Darré *et al.*, 2004).

9.2.3 Ancrage

Lien avec l'hypothèse 1

L'accomplissement de ce premier objectif a permis de confirmer la première hypothèse de la thèse, à savoir qu'une démarche inductive basée sur la parole⁶ des agriculteurs est pertinente pour l'étude et la modélisation des pratiques.

Lien avec les autres objectifs ?

Le développement de CMASOP et son application à l'étude de la gestion des prairies ont révélé une complexité de certaines cartes cognitives individuelles et des cartes cognitives sociales. Ils ont aussi confirmé la présence d'une diversité de pratiques au sein de la communauté d'agriculteurs étudiée. Cela

6. Glaser & Strauss, 1967; Darré, 1985; Kaufmann, 2004

a permis de considérer le deuxième objectif de la thèse, à savoir que cette diversité n'est pas aléatoire, mais qu'elle est organisée : les systèmes de pratiques peuvent, dès lors, être comparés les uns aux autres et servir de base à une nouvelle typologie des agriculteurs (section 9.3).

9.2.4 Perspectives

À ce stade, nous avons identifié différentes perspectives pour notre méthode :

Augmenter l'amplitude de l'objet d'étude. Il serait intéressant d'utiliser la méthode pour modéliser les pratiques agricoles liées à la gestion de l'ensemble de l'exploitation et non plus uniquement celles liées à certaines opérations (comme la gestion des prairies, p.ex.) ou à certains ateliers. Une difficulté liée à cette démarche de 'scaling up' est la gestion du nombre de concepts et de relations qui les relient.

Décrire des systèmes socio-écologiques peu connus. La méthode pourrait trouver toute sa pertinence dans l'étude exploratoire de systèmes agraires peu étudiés (pays en voie de développement, systèmes marginaux, innovants).

Élargir le domaine d'application. La méthode est très générale, elle pourrait être utilisée dans l'étude des pratiques dans des domaines variés autres que l'agriculture : que ce soit les pratiques dans la gestion des systèmes socio-écologiques (gestion des forêts, gestion des pêcheries, ...) ou même simplement les pratiques d'agents au sens large (gestionnaires, mais aussi consommateurs, utilisateurs) dans les systèmes sociaux ou économiques (villes, familles, entreprises).

9.3 Deuxième objectif : Révéler et caractériser la diversité des pratiques au sein des systèmes socio-écologiques

9.3.1 Introduction

L'utilisation de CMASOP pour le traitement des entretiens des agriculteurs a permis de révéler et de représenter simplement les dimensions sociale, économique et écologique qui déterminent leurs pratiques. La première utilisation de la méthode est descriptive et a été discutée ci-dessus. Elle a révélé la complexité des pratiques, à la fois au niveau individuel et au niveau collectif en mettant aussi en évidence la diversité des éléments pris en considération par les agriculteurs dans l'élaboration de leurs pratiques. Au niveau collectif, une deuxième source de complexité a été mise en évidence par les analyses préliminaires (Vanwindekens *et al.*, 2013, chapitre 7) : la diversité des systèmes de pratiques rencontrés au sein de la communauté d'agriculteurs.

Si les outils descriptifs développés et utilisés dans un premier temps ont montré leur pertinence pour l'étude de la complexité des systèmes de pratiques, ils n'avaient pas été conçus pour caractériser cette diversité. Le deuxième objectif de la thèse vise à combler cette lacune.

Objectif 2

Révéler et caractériser la *diversité* des pratiques au sein des systèmes agraires.

9.3.2 Discussion

Nous avons atteint notre deuxième objectif en développant deux modules complémentaires qui viennent se greffer au cœur de la méthode : (i) un module de comparaison des systèmes de pratiques et (ii) un module de classification des systèmes de pratiques⁷.

7. Ces modules sont présentés en détails aux chapitres 5, p. 79 et 8, p. 171

a Une méthode pour objectiver certaines intuitions qualitatives

Dans le but de tester le module de comparaison, nous l'avons utilisé pour comparer les systèmes de pratiques des éleveurs de régions agro-écologiques distinctes (Ardenne et Famenne). Nous savions, par les entretiens qualitatifs réalisés, que la sécheresse estivale était une contrainte particulièrement présente en Famenne et absente en Ardenne. Les résultats de la première application du modèle comparatif ont mis en évidence des différences nettes qui ont confirmé l'influence de cette contrainte sur les pratiques des éleveurs Famennois.

Ces premiers résultats ont confirmé la pertinence du codage des entretiens et des tests statistiques du module comparatif. En outre, l'exemple montre que la méthode peut être utilisée comme une manière d'objectiver une intuition ressentie durant la phase de récolte de données. Ces résultats positifs nous ont amené à poursuivre l'analyse des systèmes de pratiques en automatisant le module comparatif et en testant l'impact de critères variés.

b Une méthode automatique pour l'exploration des données

Le caractère complexe des systèmes de pratiques vient, au moins en partie, du fait que les agents (agriculteurs, éleveurs, gestionnaires des systèmes socio-écologiques) les élaborent à partir d'une diversité de motivations et selon de multiples modalités. Cela se traduit, dans nos modèles, par un nombre important de variables. Cette complexité implique qu'il n'est pas aisé, pour le chercheur, d'identifier *a priori* la ou les variables les plus influentes. Dans le but de tester aisément différents critères de classification et pour donner un caractère exploratoire à notre méthode, le module comparatif a été automatisé : traitement des cartes cognitives, tests statistiques et affichage des résultats (graphiques, tableaux).

Ce module automatique a permis de comparer les systèmes de pratiques des éleveurs classés selon différents critères techniques. Les critères communément utilisés dans les typologies des fermes d'élevages bovins wallonnes (Hennart *et al.*, 2010) ont été choisis dans un premier temps : la présence d'un

troupeau laitier, la part de maïs dans la superficie fourragère et le chargement en bétail.

La comparaison des systèmes de pratiques de deux groupes d'agriculteurs met au jour les différences qui existent entre ces deux groupes. L'interprétation des différences mises en évidence lors des comparaisons n'est pas *a priori* évidente. Dans ce contexte, l'intérêt de la méthode réside dans le fait que les paroles des agents sont reliées aux concepts et aux relations durant l'ensemble des étapes de l'analyse. Elle permet donc une consultation aisée des séquences d'entretiens liées aux concepts et aux relations mises en évidence dans les comparaisons et facilite leur interprétation.

La variété des différences révélées par les différentes comparaisons réalisées sur base des critères géographique et techniques montre la possibilité de comparer les pratiques des agriculteurs et l'efficacité de notre méthode à les mettre en évidence. Cette variété de différences illustre également la réalité complexe et de la diversité des systèmes de pratiques au sein d'un système agraire.

Par contre, si l'analyse comparative nous permet de caractériser les partitions testées en fonction des différences qu'elles révèlent, elle ne nous permet pas de savoir si le(s) critère(s) le(s) plus discriminants entre les systèmes de pratiques ont été utilisé(s). Pour identifier ces critères, nous avons inversé la démarche et appliqué des approches de classification pour catégoriser les systèmes de pratiques.

c Une méthode de classification des cartes cognitives basée sur les relations

Chacune des comparaisons de groupes issus de partitions basées sur les critères descriptifs avait révélé des différences plus ou moins nombreuses entre les groupes comparés. Une question soulevée à ce stade est l'identification (i) d'une partition de l'échantillon qui permettrait de révéler les contrastes les plus importantes, en utilisant les données des différences significatives, et (ii) des éventuels critères (techniques, économiques, sociaux, ...) qui seraient à la base de cette partition. Dans le but d'établir une typologie des systèmes

de pratiques et d'éventuellement identifier les critères qui les discriminent, une approche de classification a été intégrée et liée à CMASOP et à l'analyse comparative.

La classification des systèmes de pratiques a mis en lumière deux systèmes de pratiques nettement contrastés, dont l'analyse comparative révèle des différences plus nombreuses que dans le cas des groupes basés sur les critères descriptifs. En outre, l'analyse des deux systèmes de pratiques, leur compréhension et leur description ont révélé qu'ils se discriminaient sur base d'un critère technique également mais que l'on n'avait pas utilisé spontanément dans la typologie : les modes de conditionnement et de conservation des fourrages. Cet élément paraît évidemment central dans l'étude des pratiques de gestion des prairies. L'intérêt de la méthode est de pouvoir le mettre en évidence de manière automatique et objective.

Au niveau méthodologique, notre thèse a également pu apporter des améliorations significatives quant à la technique de classification des cartes cognitives individuelles. En effet, une méthode de classification a initialement été proposée par Özesmi & Özesmi (2004). La classification que ces auteurs proposent se base sur un critère de présence-absence de concepts au sein des cartes cognitives. Notre méthode se base, quant à elle, sur la présence-absence de relations dans les cartes cognitives. Notre choix a été motivé par le fait que les systèmes de pratiques sont exprimés sous la forme de relations par les agriculteurs et que c'est sous cette forme que les cartes cognitives sont construites pour modéliser ces systèmes de pratiques dans notre méthode.

En appliquant ces deux méthodes à notre étude de cas, nous illustrons que notre approche basée sur la présence-absence des relations apparaît être globalement meilleure en terme de centralité des concepts et de poids des relations mises en évidence.

9.3.3 Ancrage

Lien avec l'hypothèse 2

Notre deuxième hypothèse était la suivante : 'S'inscrivant dans l'histoire des systèmes socio-écologiques, les systèmes de pratiques sont le fruit d'interactions complexes entre contraintes environnementales, évolutions techniques et dynamiques sociales. Dans ce contexte, les systèmes de pratiques peuvent être comparés les uns aux autres et être classifiés pour en analyser la diversité.'

La caractérisation de la diversité des systèmes de pratiques a permis de révéler une diversité non aléatoire, et au contraire, organisée de ces systèmes. Une partie de notre hypothèse subsiste, à savoir que cette diversité organisée serait le reflet des interactions et des liens qui unissent les agriculteurs d'un même système agraire, soumis à des contraintes communes dans un environnement similaire, mais également partageant des expériences et des valeurs.

Lien avec les autres objectifs

La mise en lumière et la caractérisation de la diversité des pratiques au sein des systèmes agraires nous a conduit à considérer et à analyser les capacités d'adaptation des agents. Ce point est à la base du troisième objectif de la thèse : (i) révéler et caractériser les capacités d'adaptation des agents dans un contexte incertain et évolutif (section 9.4).

9.3.4 Perspectives

Une des perspectives de l'utilisation comparative et typologique de la méthode serait la mise en évidence des *farming styles*.

Le concept de *farming styles* a été développé par J.D. van der Ploeg dans les années nonante. Dans sa définition originelle (van der Ploeg, 1994), ce

concept est présenté sous trois facettes. Les *farming styles* reflètent d'abord un 'discours' particulier. Ensuite, ils mènent à une structuration particulière du travail, de l'organisation du temps et de l'espace et, en conséquence, ils mènent à une organisation particulière du processus de production. Enfin, ils reflètent des liens spécifiques entre les dimensions économiques, sociales, politiques, écologiques et technologiques des systèmes agraires.⁸

Les approches qui utilisent le concept de *farming styles* visent à expliquer la nature sociale de la diversité observée en agriculture (Vanclay *et al.*, 2006), à révéler les interactions entre la situation économique, la personnalité et les attitudes des agriculteurs (Schmitzberger *et al.*, 2005). Elles sont principalement menées en sociologie rurale. Pour établir les *farming styles* d'une communauté d'agriculteurs, les chercheurs ont recours à une combinaison de méthodes basées sur des enquêtes socio-économiques et des discussions entre experts (agro-sociologues, par exemple) (Schmitzberger *et al.*, 2005). Une manière de consolider la méthode pourrait être par l'utilisation de procédures de classification statistique (Schmitzberger *et al.*, 2005).

La classification des systèmes de pratiques développée dans le cadre de cette thèse est une voie prometteuse de mise en évidence des *farming styles* au sein d'une communauté d'agriculteurs. Elle a l'avantage :

- i d'être ancrée dans le discours des agents (voir la définition de van der Ploeg, 1994, ci-avant) ;
- ii d'être procédurale, semi-automatique et, dès lors, d'apporter une objectivité et une reproductibilité à l'identification des *farming styles* ;
- iii de pouvoir prendre en compte des éléments des différentes dimensions des systèmes agraires (économiques, sociales, politiques, écologiques et

8. 'First, farming styles represent a specific [...] discourse. Second, [they] entail a specific structuration of the labour process, of the organization of time and space [...] and consequently farming styles result in a particular organization of the process of production [...]. Thirdly, styles of farming represent specific connections between economic, social, political, ecological and technological 'dimensions' (van der Ploeg, 1994).

Nous en présentons ici également une définition plus récente (van der Ploeg, 2008) : '[Farming styles are] patterns of coherence underlying [the] heterogeneity that exists in [...] agricultural systems [...] These styles represent the material, relational and symbolic outcomes of strategically ordered flows through time. Taken together, they make up a richly chequered range that extends from different forms of peasant agriculture, via highly complex combinations, to different expressions of entrepreneurial agriculture.'

technologiques) et d'analyser ainsi ces systèmes dans toute leur complexité.

Si le module de classification des systèmes de pratiques de CMASOP présente des propriétés intéressantes pour l'étude des *farming styles*, des questions subsistent quant à son application pratique. Ces questions concernent, notamment,

- l'échelle et la 'granularité' des pratiques modélisées (échelle de la saison, échelle de la carrière de l'exploitation, ...);
- le nombre de *farming styles* à identifier au sein d'une communauté. Pour cette limite, une voie à explorer consisterait à calculer le nombre optimal de classes à partir des données, sur base d'un indicateur comme l'indice Silhouette (Rousseeuw, 1987).

Enfin, si la méthode ne nécessite pas l'apport d'un groupe d'experts (agro-économistes, agro-sociologues...), elle n'en exclut pas l'intérêt, notamment dans la phase d'analyse et de description des *farming styles* identifiés.

9.4 Troisième objectif : Révéler et caractériser les capacités d'adaptation des agents dans un contexte incertain et évolutif

9.4.1 Introduction

Les premières utilisations, descriptive, comparative et typologique, de notre modèle des systèmes de pratiques présentent un caractère assez statique, reflétant une situation établie à un moment donné. Néanmoins, l'environnement dans lequel les fermiers pilotent leurs exploitations possède un caractère évolutif et incertain (Dedieu, 2009). Les agriculteurs ont pleinement conscience de ce caractère évolutif et développent, en réponse, une capacité

d'adaptation au sein de leurs systèmes de pratiques. L'étude de ces capacités d'adaptations est au centre du troisième objectif de la thèse.

Objectif 3

Révéler et caractériser les *capacités d'adaptation* des agents dans un contexte incertain et évolutif.

9.4.2 Discussion

Pour répondre au troisième objectif de notre thèse, une méthodologie nouvelle a été développée. Cependant, elle n'a pu être appliquée qu'à un nombre trop limité de cas pour répondre pleinement à cet objectif. Les développements méthodologiques et l'application de ceux-ci constituent donc une des deux approches exploratoires de notre thèse. Cette approche exploratoire et les résultats de son application sont présentés et discutés au chapitre suivant (chapitre 10, section 10.2). Pour information, la deuxième approche exploratoire réalisée se base sur les résultats de nos travaux pour évaluer la résilience des systèmes socio-écologiques et des systèmes de pratiques. Elle est également présentée au chapitre suivante (chapitre 10), à la section 10.3 et à l'annexe F.

CHAPITRE 10

APPROCHES EXPLORATOIRES & PERSPECTIVES

RÉSUMÉ

LES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES sont marqués par l'incertitude des évolutions de leur environnement à la fois au niveau social, économique et écologique, à court, à moyen et à long terme. La gestion de ces systèmes requiert, de la part des agents, le développement et la mise en place de systèmes de pratiques qui leur accordent une capacité d'adaptation pour répondre à ces évolutions et pour assurer la résilience de leurs exploitations et des systèmes socio-écologiques en général. Nous présentons ici une brève introduction à la théorie de la résilience (section 10.1).

Pour étudier ces aspects, deux approches exploratoires ont été développées dans le cadre de notre recherche. Elles offrent un champ de perspectives à notre travail.

La première approche vise à mettre en lumière les capacités d'adaptation des agents dans la gestion des systèmes socio-écologiques. Pour ce faire, nous avons développé un variante de notre approche de la modélisation des systèmes de pratiques (section 10.2). Nous l'avons appliquée à l'étude du cas précis de la constitution des stocks fourragers en Famenne, une région soumise à un risque important de sécheresse estivale (section 10.2.2).

La deuxième approche vise à étudier et évaluer la résilience des systèmes socio-écologiques. Pour ce faire, nous avons appliqué des méthodes numériques qui permettent de déterminer l'état d'équilibre des cartes cognitives. Cette approche permet la simulation de scénarios pour évaluer les effets d'une perturbation sur l'état d'équilibre des systèmes. L'effet de la sécheresse estivale sur la gestion des prairies a été prise comme cas d'étude (section 10.3 et annexe F).

SOMMAIRE

10.1	Synthèse des concepts de la théorie de la résilience	228
10.1.1	La résilience en écologie	228
10.1.2	La résilience des systèmes socio-écologiques	231
a	Système socio-écologique	231
b	La résilience	232
c	La capacité d'adaptation	232
10.2	Évaluation des capacités d'adaptation des agents	233
10.2.1	Matériels et Méthodes	233
a	Cas d'étude	233
b	La constitution de l'échantillon	233
c	La conduite des entretiens	235
d	Le codage du matériau	236
e	La génération des cartes cognitives	236
10.2.2	La structure du modèle des capacités d'adaptation	238
a	Résilience 'de quoi?', 'à quoi?'	238
b	Les concepts évoqués et leurs relations	239
c	Le modèle des capacités d'adaptation des éleveurs	242
10.2.3	Analyse systémique des capacités d'adaptation	249
a	<i>via</i> la résilience physiologique des animaux	250
b	<i>via</i> la résilience économique de la ferme	251
c	<i>via</i> la résilience écologique des prairies	252
10.2.4	Discussion	254
10.2.5	Perspectives	256
10.3	Évaluation de la résilience des systèmes socio-écologiques	257
10.3.1	Aspects méthodologiques	257
a	Le modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping	258
b	L'évaluation de l'état d'activation d'un concept	258
c	L'évaluation de l'état d'activation des concepts	261
d	La fonction de transformation	262
e	Le calcul itératif et l'équilibre dynamique du système	264
f	La simulation de scénarios	266
g	La comparaison des systèmes de pratiques	268
10.3.2	L'application du modèle fonctionnel	270
10.3.3	Discussion	270
a	La constitution des cartes synthétiques	271
b	La valeur du degré d'activation initial des variables	272
c	Les boucles de rétroaction	272
d	Un système dynamique – finalement – peu évolutif	272
10.3.4	Perspectives	273
a	Une création des cartes <i>in situ</i> par les agents	273
b	Évaluation des capacités d'adaptation avec les agents	274
c	Évaluation de la résilience des systèmes	275

Introduction

Les systèmes socio-écologiques sont marqués par l'incertitude des évolutions de leur environnement à la fois au niveau social, économique et écologique, à court, à moyen et à long terme. La gestion de ces systèmes requiert, de la part des agents, le développement et la mise en place de systèmes de pratiques qui leur accordent une capacité d'adaptation pour répondre à ces évolutions. Le comportement des systèmes socio-écologiques face à une perturbation est souvent étudié sous le prisme du concept de résilience.

Dans la littérature scientifique, les positions méthodologiques des pionniers de l'étude de la résilience des systèmes socio-écologiques sont restées très ouvertes (et...très vagues) sur la mesure même de la résilience. Pour l'analyser et la piloter, Walker *et al.* (2002) proposent un cadre complet divisé en quatre étapes. Les deux premières étapes consacrées à l'étude du contexte concernent la description du système (résilience 'de quoi' ?) et des évolutions possibles (visions, scénarios, résilience 'à quoi' ?). La troisième étape porte sur l'analyse de la résilience et est nettement plus ouverte. Les auteurs proposent simplement d'associer une combinaison de méthodes modélisatrices et non-modélisatrices. La quatrième étape, donnée pour information, concerne la gestion de la résilience par les parties-prenantes elles-mêmes.

Une utilisation potentielle de notre méthode concerne l'étude des capacités d'adaptation des agents et de la résilience de leur système. Deux approches exploratoires ont été initiées et sont présentées ici comme les perspectives de notre recherche doctorale :

- La première approche est l'utilisation d'une variante CMASOP pour mettre en lumière les capacités d'adaptation des agents dans la gestion des systèmes socio-écologiques. La méthode et les résultats sont présentés et discutés dans ce chapitre (section 10.2).
- La deuxième approche est l'utilisation des propriétés dynamiques des cartes cognitives pour évaluer la résilience des exploitations. Cette approche a été publiée dans un article présenté en annexe de notre manuscrit (annexe F). La méthode utilisée est reprise en détails et en français dans ce chapitre et est suivie par la discussion des résultats (section 10.3).

Ces deux approches exploratoires ont été développées et appliquées à l'étude du cas précis de la constitution des stocks fourragers en Famenne. Eu égard aux conditions pédo-climatiques qui y règnent, cette région agro-écologique est soumise à un risque important de sécheresse estivale. Cette perturbation potentielle, connue des éleveurs, est utilisée pour évaluer leur capacité d'adaptation et la résilience de leur système.

Ce chapitre débute par une synthèse sur la théorie de la résilience dans les systèmes écologiques et socio-écologiques (section 10.1). Ensuite, les deux approches exploratoires sont présentées (sections 10.2 et 10.3).

10.1 Synthèse des concepts de la théorie de la résilience

10.1.1 La résilience en écologie

Le concept de résilience est associé pour la première fois à une propriété des systèmes écologiques dans l'article séminal de C.S. Holling (1973)¹. En se basant sur l'étude des systèmes proies-prédateurs, l'auteur fait le constat que l'évolution de ces systèmes peut être lourdement influencée par certains paramètres environnementaux considérés comme des perturbations naturelles et anthropiques. Ces perturbations sont caractérisées par un degré élevé d'incertitude (climatique, feu, ...). Elles confèrent un caractère aléatoire au comportement des systèmes naturels dont l'état peut s'écarter de conditions d'équilibre dans une vision 'classique'. Une grande diversité de comportements peut apparaître : foyers stables ou instables, de nœuds stables, de cycles limites stables (figure 10.1).

Pour Holling (1973), si une approche quantitative est pertinente pour l'étude du comportement des systèmes proches de l'équilibre, elle l'est, par contre, beaucoup moins pour l'étude des systèmes continuellement confrontés à de l'inattendu dans un environnement variable. Dans ces conditions, typiques

1. Avant cette date, la résilience est un concept qui a été utilisé en sciences de l'ingénieur et en psychologie.

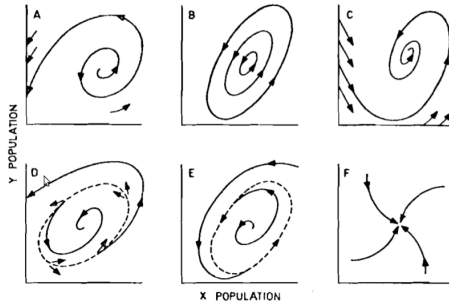


FIGURE 10.1 – Comportements possibles des systèmes écologiques : (a) foyer instable, (b) cycles stables neutres, (c) foyer stable, (d) domaine d’attraction, (e) cycle limite stable, (f) nœud stable. (figure originale de Holling, 1973)

des systèmes écologiques, une approche qualitative est plus pertinente. Alors que l’approche quantitative se focalise sur la constance du comportement du système, l’approche qualitative se concentre sur la persistance des relations du système. Cette distinction est à l’origine des deux propriétés des systèmes naturels complexes proposées par Holling (1973) pour leur étude : la stabilité et la résilience.

Pour Holling (1973), la résilience appliquée en écologie

détermine la persistance des relations au sein d’un système et est une mesure de la capacité de ce système à absorber des variations de variables d’état, de variables d’environnement et de paramètres, et de persister.

La résilience est une propriété du système, la persistance ou la probabilité d’extinction en sont le résultat.

Selon sa définition, la stabilité d’un système écologique

est la capacité de ce système à revenir à un état d’équilibre après une perturbation temporaire.

Plus un système est stable, plus vite il retourne à l'équilibre et avec un minimum de fluctuation. La stabilité est une propriété du système, le degré de fluctuation autour d'états spécifiques en est le résultat.

Holling (1973) constate que l'écologie théorique et empirique de l'époque était largement influencée par la physique classique. Il veut s'en écarter et valoriser les approches intégrant des raisonnements qualitatifs. Par contre, il juge essentiel que les deux propriétés qu'il propose puissent faire l'objet de mesure. Dans ce but, il propose un modèle heuristique qui représente les trajectoires possibles d'un système au sein d'un bassin d'attraction² (figure 10.2). Dans sa représentation, dont le contexte est l'étude des populations,

- il y a extinction lorsque la trajectoire du système quitte le bassin
- la résilience peut être évaluée par les limites du bassin d'attraction via les deux paramètres qui influencent la probabilité d'extinction : (i) l'aire et (ii) la hauteur du point le plus bas du bassin d'attraction,
- la stabilité, à l'inverse de la résilience, est centrée sur le point d'équilibre. Elle peut être évaluée par (i) la fréquence des pentes du champ des états potentiels et par (ii) la vitesse des orbites neutres autour de l'équilibre.

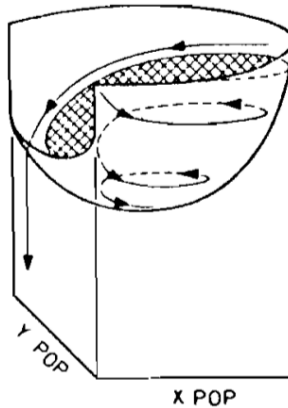


FIGURE 10.2 – Les systèmes écologiques évoluent dans un champ d'états potentiels au sein duquel les trajectoires sont multiples. Le bassin d'attraction est représenté en grisé. (figure originale de Holling, 1973)

2. Bassin d'attraction est un terme qu'il reprend de Lewotin (1969) dans son article (Holling, 1973)

10.1.2 La résilience des systèmes socio-écologiques

L'article de revue de Holling (1973) est largement cité par une littérature scientifique multidisciplinaire³. Une partie des études qui s'y réfèrent ont comme objet d'étude des systèmes purement écologiques.

Si C.S. Holling ne se réfère pas explicitement à l'étude des systèmes socio-écologiques dans sa publication de 1973, il évoque l'influence grandissante des sociétés humaines sur la nature (Holling, 1973, p.2), éloignant les systèmes écologiques de leur point d'équilibre. Par ailleurs, il avait publié en 1969 un article intitulé 'Stability in ecological and social systems'⁴.

L'article séminal de Holling (1973) a été la source d'inspiration de travaux scientifiques qui avaient pour objet l'étude de la dynamique des écosystèmes terrestres en lien avec les perturbations environnementales d'origine anthropique. La résilience est alors apparue comme une perspective pour analyser les systèmes socio-écologiques (Folke, 2006). Parmi les systèmes socio-écologiques analysés, certains cas d'études sont devenus classiques : comme l'étude des dynamiques biochimiques dans les lacs en Amérique du Nord ou en Scandinavie notamment (Neubert & Caswell, 1997; Scheffer *et al.*, 2001; Martin, 2004; Gunderson *et al.*, 2006; Olsson *et al.*, 2006) ou l'étude des dynamiques de végétations dans le pâturage des parcours en milieu semi-aride, en Australie notamment (Janssen *et al.*, 2000; Walker *et al.*, 2009).⁵

a Système socio-écologique

Dans son sens actuel, le concept de *systèmes socio-écologiques* a été vulgarisé par Berkes, Folke, & Colding en 1998 dans leur livre '*Linking social and ecolo-*

3. Holling (1973) est cité 5006 fois par les documents référencés dans Google Scholar, consulté le 26 août 2013

4. soit 'La stabilité dans les systèmes écologiques et sociaux' (Holling, 1969)

5. En 1999, ces chercheurs se sont regroupés au sein d'un réseau international d'institutions (universités, centre de recherches, gouvernements, organisations non gouvernementales) : la '*Resilience Alliance*' qui édite actuellement la revue '*Ecology and Society*'.

gical systems : management practices and social mechanisms for building resilience' (Berkes *et al.*, 1998). Il est défini comme étant (Folke *et al.*, 2010)

un système cohérent d'écosystèmes et d'une communauté humaine interdépendants en interactions réciproques. Ce concept s'inscrit dans la perspective 'humans-in-nature' (voir Berkes, 2004)⁶

b La résilience

La résilience est définie comme étant (Folke *et al.*, 2010)

la capacité d'un système à absorber les perturbations et à se réorganiser dans un environnement changeant de manière à maintenir toujours ses fonctions, sa structure et ses rétroactions, et de ce fait son identité. C'est la capacité de changer dans le but de maintenir la même identité.⁷

c La capacité d'adaptation

L'adaptabilité est définie comme étant (Folke *et al.*, 2010)

La capacité des individus d'influencer la résilience dans un système.⁸

L'adaptabilité (ou la capacité d'adaptation) est la capacité des *acteurs* de promouvoir la résilience d'un système, c'est donc surtout une fonction de la composante sociale des systèmes socio-écologiques (individus et groupe).

6. 'Integrated system of ecosystems and human society with reciprocal feedback and interdependence. The concept emphasizes the humans-in-nature perspective'

7. 'The capacity of a system to absorb disturbance and reorganize while undergoing change so as to still retain essentially the same function, structure and feedbacks, and therefore identity, that is, the capacity to change in order to maintain the same identity.'

8. 'The capacity of actors in a system to influence resilience.'

10.2 L'évaluation des capacités d'adaptation des agents

10.2.1 Matériels et Méthodes

Une variante de CMASOP a été développée pour l'étude des capacités d'adaptation des agents dans les systèmes socio-écologiques. Cette méthode a été appliquée à l'analyse de la constitution des stocks fourragers par les éleveurs en région herbagère. Elle s'inspire de la méthode principale développée pour analyser les systèmes de pratiques (CMASOP, présentée en détails au chapitre 5) mais en diffère sur certains aspects. L'étude de cas et les développements méthodologiques sont présentés dans cette section.

a Cas d'étude

Nous avons appliqué l'étude des capacités d'adaptation des agents dans les systèmes socio-écologiques au cas d'étude de notre recherche : les pratiques fourragères d'éleveurs en région herbagère en Belgique. Nous avons décidé d'étudier plus en détails leurs capacités d'adaptation face à un risque météorologique précis identifié lors des premières phases de la recherche : la sécheresse estivale (voir chapitre 8, plus particulièrement, la section 8.3.1). Ce risque est récurrent dans une des deux régions agroécologiques étudiées, la Famenne, où ses conséquences sont exacerbées par les conditions édaphiques : un sol très peu profond dans de nombreuses zones.

b La constitution de l'échantillon

Dans le but de poursuivre notre démarche inductive et de disposer de descriptions des pratiques adaptatives des éleveurs selon leurs propres conceptions, les données ont été collectées lors d'entretiens compréhensifs.

Afin de disposer d'une description de la diversité des capacités d'adaptation, deux éleveurs aux systèmes de pratiques plus ou moins contrastés ont

été réunis lors de chaque entretien compréhensif. L'objectif était de créer ainsi un climat de saine émulation, de présentation des éléments sur lesquelles se fondent les capacités d'adaptation, d'échange de points de vue et de questionnement, le tout plus d'une manière plus riche que lors d'entretien chercheur-éleveur.

Pour optimiser le temps imparti pour cette phase du travail, six éleveurs-ressources ont été interrogés par paires lors de trois entretiens compréhensifs (un interview par paire d'éleveurs). Pour tenir compte de la diversité des pratiques et des structures dans la région agroécologique, les éleveurs-ressources ont été sélectionnés de manière raisonnée parmi ceux faisant déjà partie de l'échantillon des phases d'enquêtes précédentes.

L'ensemble des critères utilisés pour la sélection de notre échantillon raisonné étaient donc les suivants :

- Les éleveurs devaient avoir été interrogés lors des premières phases de l'enquête ;
- Les éleveurs devaient se situer en Famenne ;
- Pour chaque entretien, nous avons réuni des éleveurs qui se connaissaient l'un l'autre et qui se différenciaient de par leurs systèmes de pratiques. Leur systèmes de pratiques respectifs devaient donc être classifiés au sein de deux *clusters* différents lors de l'analyse comparative (voir chapitre 8) ;
- L'ensemble des trois entretiens devaient mettre en perspective une diversité de systèmes de production (table 10.1).

Lors du premier entretien, étaient mis en présence (A) un éleveur intensif possédant trois troupeaux (pie noire - holstein – lait, race dominante –, blanc-bleu mixte – lait et viande, race alternative – et limousine – viande, race alternative –) et (B) un éleveur biologique très extensif dont le troupeau est constitué d'une race alternative (aberdeen angus). Lors du deuxième entretien, étaient mis en présence (C) un éleveur laitier intensif (pie noire - holstein) et (D) un éleveur extensif mixte avec un troupeau laitier (pie-rouge, pie-noire) et un troupeau viandeux (blanc-bleu belge). Dans le troisième entretien, les systèmes de production des éleveurs en présence n'étaient pas contrastés⁹ : les

9. Ils étaient pourtant bien dans des clusters différents, révélant des systèmes de pratiques liés à la gestion des prairies différents

TABLE 10.1 – Caractéristiques générales des six éleveurs-ressources interrogés sur leurs capacités d'adaptation.

Entretien	Éleveur	Lait	Viande	Race dominante	Race alternative	Bio
1	A	✓	✓	✓	✓	
	B		✓		✓	✓
2	C	✓		✓		
	D	✓	✓	✓		
3	E		✓	✓		
	F		✓	✓		

éleveurs (E, F) possédaient chacun un troupeau viandeux de race dominante (blanc-bleu belge).

c La conduite des entretiens

Les entretiens ont été menés suivant le mode de l'entretien compréhensif (Kaufmann, 2004), comme lors des phases d'enquêtes précédentes. L'entretien a été structuré en quatre phases qui ont guidé les échanges :

- Les systèmes de pratiques : récolte des fourrages, conservation & conditionnement des fourrages.
- Les contraintes socio-écologiques des systèmes fourragers famennois.
- La résilience des exploitations d'élevage.
- Les capacités d'adaptation des éleveurs.

Les entretiens ont eu une durée allant de 1h15 à 2h10 environ (93 min., 128 min. et 74 min. respectivement pour les entretiens 1, 2 et 3). Ils ont été intégralement enregistrés et retranscrits *in extenso*.

d Le codage du matériau

Les entretiens retranscrits ont été codés de manière inductive en utilisant le logiciel d'analyse qualitative R-QDA. Dans ce cadre, la technique développée pour l'analyse des systèmes de pratiques a été légèrement adaptée pour étudier les capacités d'adaptation des élèves.

En cohérence avec le caractère inductif du codage, les codes utilisés ont émergé de l'analyse. Ils ont été classés parmi quatre catégories dominantes :

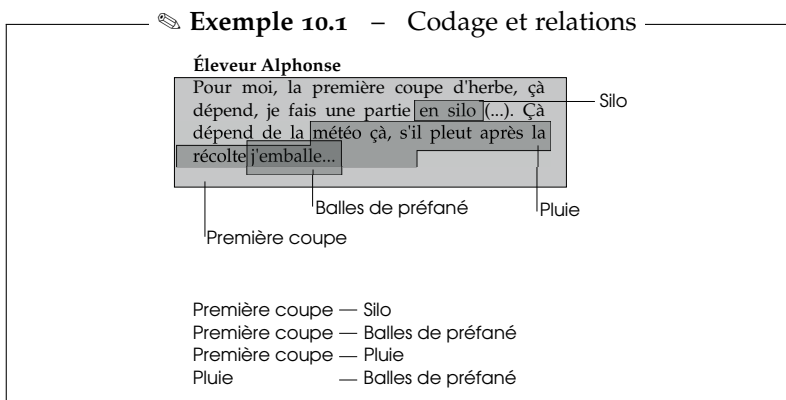
1. contraintes, 'drivers', les causes ;
2. réactions aux contraintes, les pratiques adaptatives ;
3. effets des pratiques, les conséquences ;
4. généralités¹⁰, autres.

L'application de CMASOP à l'étude des systèmes de pratiques avait soulevé certaines questions en terme de codage du matériau : (i) potentielle influence du chercheur et (ii) sens des relations. Dans le but de répondre à ces questions, le codage des entretiens sur les capacités d'adaptation a été amélioré. Il a consisté en l'attribution de codes à différentes séquences des entretiens. Les codes utilisés dans cette phase étaient des *concepts* (et non plus directement des *relations*, voir exemple 10.1). Les concepts utilisés sont repris à la table 10.2. Un même concept pouvait servir à coder différentes séquences d'un entretien. De même, une même séquence d'entretien pouvait être codée par plusieurs concepts. Cette dernière propriété a été utilisée pour (i) définir des relations entre les concepts et (ii) générer des cartes cognitives.

e La génération des cartes cognitives

Les cartes cognitives ont été produites grâce à un programme de traitement automatique du codage des entretiens. Une carte cognitive est constituée d'un ensemble de relations entre les concepts utilisés lors du codage de l'entretien. Dans notre approche, les relations ne sont pas directement définies par le

10. Nous avons hésité à utiliser la notion de 'concepts généraux', mais il y avait un risque de confusion important.



chercheur lors de la phase de codage. Elles doivent, par contre, pouvoir être identifiées de manière automatique à partir de la co-occurrence des codes de l'entretien. Un programme a été développé pour permettre d'assurer cette fonction et de relier deux à deux les concepts utilisés pour le codage d'une même séquence d'entretien. Une relation non orientée est établie entre deux concepts si les séquences auxquelles ils ont été liés sont :

- soit parfaitement identiques l'une et l'autre,
- soit partiellement identiques l'une et l'autre, à savoir qu'elles se recouvrent partiellement (*'overlapping'*) ou que l'une soit incluse dans l'autre (*'inclusion'*).

L'exemple 10.1 présente la génération des relations d'une carte cognitive à partir du codage d'un entretien. Nous avons repris une partie du texte de l'exemple du chapitre 5.

Les relations identifiées dans l'ensemble des trois entretiens ont été utilisées pour générer la carte cognitive sociale. Cette carte cognitive globale a été formulée mathématiquement (une matrice d'adjacence) et graphiquement (un réseau de concepts). La matrice d'adjacence est symétrique car les relations ne sont pas orientées.

Le couplage des méthodes de codage et de génération des cartes cognitives génère un nombre tel de relations que la formulation graphique de la carte cognitive est difficilement analysable (figure 10.4, p. 243).

L'analyse des capacités d'adaptation des éleveurs a été rendue possible grâce à trois éléments :

- la partition de la carte cognitive globale en cartes cognitives partielles centrées sur un concept (*e.g.* une contrainte) étudié en détails en affichant uniquement les concepts qui y sont directement reliés ;
- la simplification graphique de la carte cognitive partielle, produisant une carte cognitive partielle simplifiée, via
 - le gommage des relations entre les concepts de la même catégorie (Contraintes-Contraintes, ...),
 - le gommage des relations entre les concepts des catégories 'Causes' et 'Effets', vu le caractère intermédiaire des concepts de la catégorie 'Pratiques' dans la suite logique 'Causes' → 'Pratiques' → 'Effets',
 - l'estompage des relations liées aux concepts de la catégorie 'Généralités', vu leur caractère général ;
- la consultation des séquences d'entretiens liées aux relations de la carte cognitive partielle simplifiée.

10.2.2 La structure du modèle des capacités d'adaptation

a Résilience 'de quoi?' , 'à quoi?'

Comme proposé par Carpenter *et al.* (2001) et repris par Walker *et al.* (2002), nous avons identifié deux caractéristiques importantes du système étudié : l'élément du système dont la résilience est recherchée (la résilience 'de quoi?') et l'élément de l'environnement du système vis-à-vis duquel la résilience est recherchée (la résilience 'à quoi?').

Résilience 'de quoi?' *La constitution des stocks fourragers dans les systèmes d'élevage bovins en Famenne, une région agroécologique herbagère du sud-est de la Belgique.*

Résilience 'à quoi?' *La sécheresse estivale, un risque caractéristique pour l'agriculture en Famenne.*

Les trois entretiens ont été codés intégralement en suivant la méthode présentée à la section précédente. En guise d'illustration, nous avons analysé les capacités d'adaptation des éleveurs en réponse au risque de *sécheresse estivale* caractéristique de la Famenne.

b Les concepts évoqués et leurs relations

Au sein des trois entretiens, 82 concepts ont été identifiés et classés parmi les quatre catégories (table 10.2).

Les 82 concepts ont été liés entre eux par 410 types de relations. Parmi ces relations, 278 n'apparaissent qu'une seule fois dans un des trois entretiens. Certaines relations apparaissent 6, 7 ou 8 fois dans les entretiens. Les relations les plus souvent évoquées par les éleveurs (poids > 4) sont détaillées à la table 10.3. La distribution complète des poids des relations (*i.e.* le nombre de fois qu'elles ont été identifiées) fait l'objet de la figure 10.3.

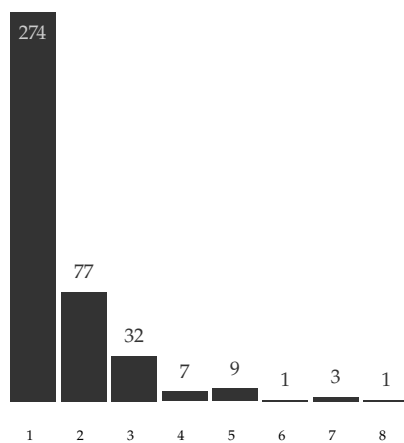


FIGURE 10.3 – Distribution du poids des 410 relations identifiées dans les cartes cognitives. Les relations les plus souvent évoquées par les éleveurs sont détaillées à la table 10.3

TABLE 10.2 – Les 82 codes utilisés pour le codage inductif dans l'étude des capacités d'adaptation des éleveurs fammenois se répartissent en quatre catégories : les contraintes (contexte, causes), les pratiques (adaptations, réactions), les conséquences (effets) et les généralités.

1 – Causes, Contraintes	2 – Pratiques, Adaptations	Suivi Gestion
Changements climatiques	Achat cheptel	Travail entreprise
Chocs	Achat fourrage	Travail sol
Concurrence mondiale	Association	Veaux au pis
Consommation	Augmentation superficies	Vente cheptel
Contrôles	Autarcie	Vente fourrage
Coupe 1	Autres cultures	Zero Grazing
Coût	Chargement	Zero Night Grazing
Dépendances	Complémentation	
Donation royale	Circuit court	3 – Effets, Conséquences
Intermédiaires	Croisement industriel	Assurer
MAE	Date	Coût supplémentaire
Masse fourrage	Diversification	Diminution charges
Météo	Engrais	Équilibre écosystème
Primes	Équipement	État animaux
Prix	Filière	Flexibilité
Prix terrains	Gros dos	Production
Ravageurs	Mélanges fourragers	Reproduction
Région agroécologique	Minéraux	Revenu
Sécheresse été	Mode conservation	Santé animaux
Sécheresse printemps	Pâturage	
Sols	Qualité fourrage	4 – Généralités
Superficie	Quantité fourrage	Adaptation
Travail	Race	Bio
Type bovin	Rationnement	Chance
Valeurs fourrage	Remettre	Complexité
Voisins	Resemer	Diversité
	Réserve	Liberté
	Sélection	Pertes outils
	Spécialisation	Risque

TABLE 10.3 – Relations les plus souvent évoquées dans les systèmes de pratiques adaptatives des éleveurs famennois interviewés

Poids	Relations
4	Type bovin → Coût
	Qualité fourrage → Mode conservation
	Travail → Mode conservation
	Météo → Quantité fourrage
	Sécheresse été → Complémentation
	Production → Complémentation
5	Prix → Spécialisation
	Type bovin → Date
	Travail → Coût
	Coût → Race
	Coût → Mode conservation
	Sols → Météo
	Mode conservation → Équipement
	Météo → Risque
Sécheresse printemps → Coupe 1	
Prix → Revenu	
6	Type bovin → Complémentation
7	Type bovin → Mode conservation
	Type bovin → Qualité fourrage
	Type bovin → Race
8	Coût → Prix

L'ensemble des 410 relations identifiées dans les entretiens sont représentées à la figure 10.4. La catégorie et la centralité de chaque concept sont représentées respectivement par la couleur et par la taille des symboles utilisés.

c Le modèle des capacités d'adaptation des éleveurs

La carte cognitive sociale simplifiée centrée sur le concept 'Sécheresse été' met en lumière l'ensemble des concepts qui y sont liés et leurs interrelations (figure 10.5). Certains concepts liés à la contrainte étudiée sont également des contraintes 'connexes', définies comme des contraintes reliées indirectement à la contrainte étudiée. D'autres concepts liés sont les adaptations des éleveurs à la contrainte ou au risque qu'elle apparaisse. Par ces pratiques adaptatives, les éleveurs pilotent la résilience de certaines dimensions de leur système. De ce fait, ces pratiques adaptatives déterminent la capacité d'adaptation des éleveurs.

L'analyse descriptive des systèmes de pratiques adaptatives est divisée en trois points — (i) les contraintes connexes, (ii) les pratiques adaptatives et (iii) les effets des pratiques — qui font l'objet des trois sections suivantes.

Les contraintes connexes L'analyse du système de pratiques adaptatives montre que sept contraintes connexes sont évoquées par les éleveurs dans les sections sur la sécheresse estivale. Les contraintes sont les concepts rouges dans la figure 10.5. Ces contraintes sont :

- les conditions météorologiques ('Météo'), une notion englobant les phénomènes de sécheresse ;
- les sols ('Sols'), qui présentent en Famenne une grande variabilité. Ce sont des sols limono-caillouteux à charge de schistes et principalement superficiels. Ils possèdent dès lors une très faible réserve hydrique. Ces caractéristiques exacerbent bien évidemment les effets de la sécheresse ;
- la région agroécologique ('Région agroécologique'), de la Famenne, notion qui agrège les concepts précédemment présentés en ce sens qu'elle peut se définir par des conditions pédo-climatiques particulières ;

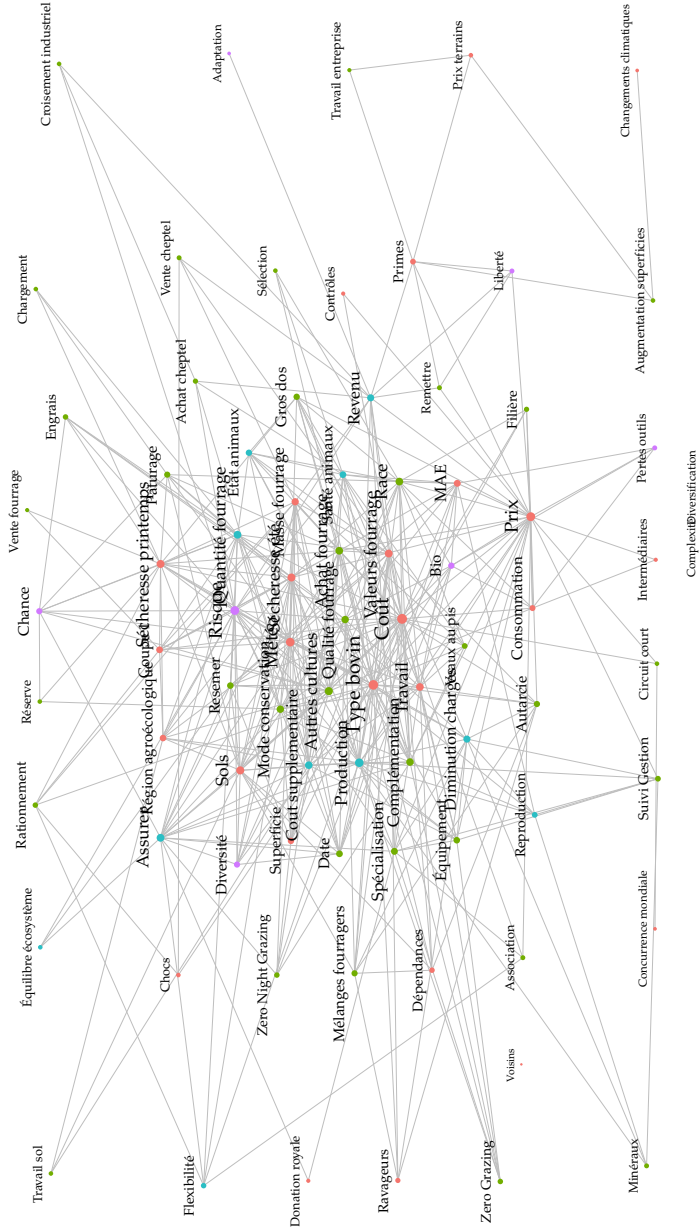


FIGURE 10.4 – Système des capacités d'adaptation des éleveurs dans la gestion des systèmes fourragers.
 Légende : ● – Causes ● – Adaptations ● – Effets ● – Généralités

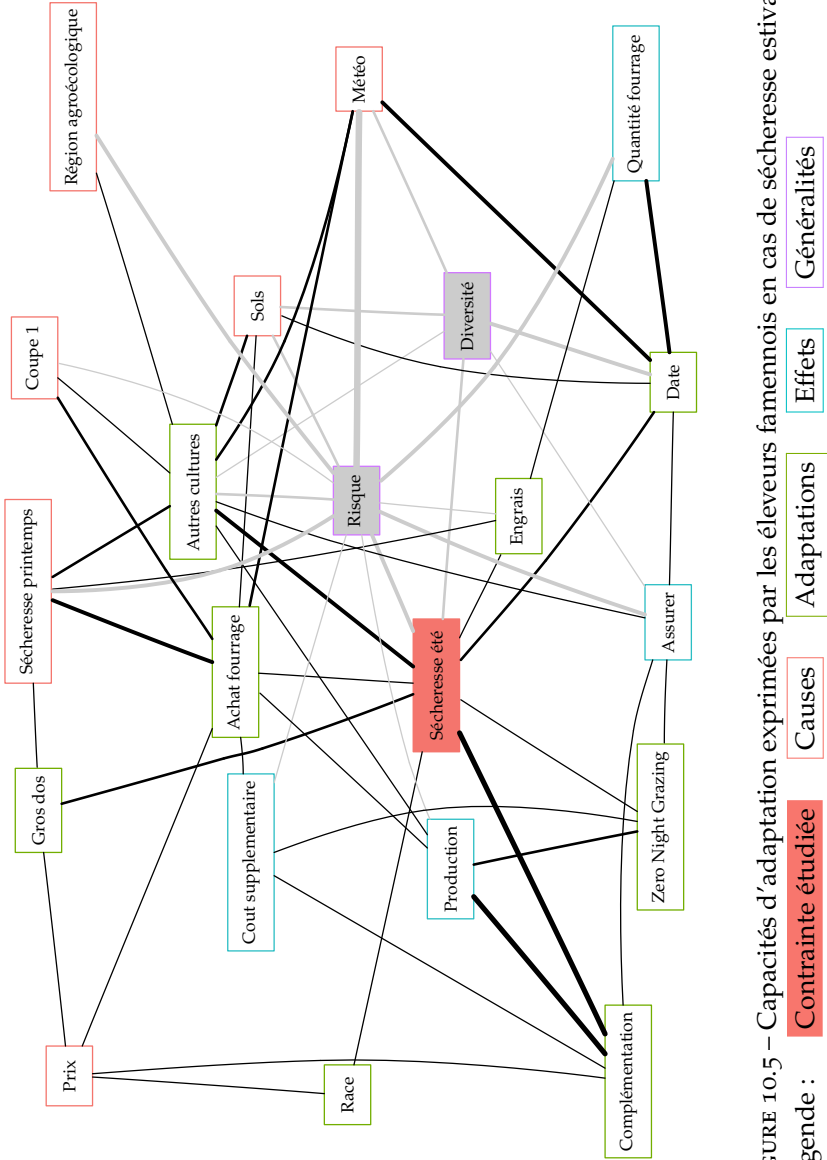


FIGURE 10.5 – Capacités d’adaptation exprimées par les éleveurs farnenois en cas de sécheresse estivale.

Légende : **Contrainte étudiée** Causes Adaptations Effets Généralités

- la sécheresse de printemps ('Sécheresse printemps'), qui est un risque également en Famenne, bien que moins fréquent ;
- la première coupe ('Coupe 1')¹¹, qui est essentielle en terme de constitution des stocks fourragers pour les éleveurs famennois ;
- les prix ('Prix') des intrants et des productions, qui est un paramètre qui a de l'importance essentiellement dans le choix des adaptations des éleveurs.

Les pratiques adaptatives Le cœur de l'analyse descriptive est la mise en évidence des pratiques adaptatives adoptées par les éleveurs pour répondre à la sécheresse estivale. Les pratiques adaptatives sont les concepts verts dans la figure 10.5. Elles sont au nombre de huit, dénommées 'Autres cultures', 'Engrais', 'Date', 'Zero night grazing', 'Complémentation', 'Achat de fourrage', 'Race' & 'Gros dos'. Celles-ci sont explicitées dans les paragraphes ci-dessous.

'Autres cultures'

En Famenne, la culture du maïs est bien implantée dans les fermes d'élevage. Les cultures de maïs sont ensilées et constituent une part plus ou moins importante des stocks fourragers.

[...] Oui, et toujours ce qu'on essaie nous c'est d'avoir quand même assez de maïs. Parce que le maïs, c'est une valeur refuge pour l'alimentation de la vache laitière, c'est de l'énergie. Et quand on a déjà un silo de maïs bien rempli, on est déjà très content. [...]

agric. #A

Cette adaptation est largement dépendante d'autres contraintes environnementales : le type de sols et la météo en général.

[...]

11. La pertinence de catégoriser ce concept en tant que 'contrainte' tient à son caractère fondamental au sein des systèmes d'élevage en région herbagère. Les modalités de son exécution (date, conditionnement, mode de conservation, ...) sont, quant à elles, catégorisées en tant que pratiques

— [...] ici il a des terres où parfois il y a moins de terre. Moi, je suis dans des alluvions, drainées. Le voisin d'en face, il est dans des alluvions de la Lesse mais pas drainées. Et bien, on remarque, avec la sécheresse, le mien il ne trinque pas encore de trop. C'est très rare que ces feuilles tournent. Mais quand il fait sec chez moi, le voisin il a des très beaux maïs, car ils ont les pieds dans l'eau d'habitude. Maintenant, comme cette année-ci le gars il était noyé, il n'avait rien, le maïs était tout jaune.

— Et dans les zones plus sèches, il n'y a pas eu de problème non plus vu qu'il y a eu de l'eau tout le temps. **agric. #C & #D**

L'implantation d'une autre culture (céréales, culture dérobée ou un fourrage) sur une prairie après une sécheresse est une adaptation évoquée, mais controversée.

[...]

— Après une sécheresse, ce qu'on peut faire c'est mettre une céréale, mais encore une fois il faut avoir des hectares libres ou réimplanter aussi un fourrage ou une culture dérobée quoi.

— Moi je ne suis jamais trop chaud pour ces machins-là ! **agric. #C & #D**

'Engrais'

En cas de sécheresse estivale très marquée ou lorsque le stock de fourrage nécessaire à l'hivernage n'est pas satisfaisant, certains éleveurs parient sur une bonne arrière-saison (septembre) et prennent le risque d'investir dans la fertilisation des terres après une maigre deuxième coupe en espérant un climat plus clément en fin d'été.

[...]

— Bin, soit on commence à donner un peu dans les réserves du mois de mai qu'on fait de l'année. Tout en spéculant et de remettre un poil d'engrais minéral et organique pour septembre. S'il pleut, paf, ça va arriver.

— Parce qu'après une sécheresse ça pousse bien d'habitude.[...] **agric. #A & #B**

'Date' de coupe

Une pratique adaptative consiste simplement à adapter la date de coupe aux conditions météorologiques, et donc de la reculer en cas de sécheresse pour espérer récolter la quantité initialement prévue.

[...]

— C'est la même chose. Certaines prairies, le long de l'eau, elles poussent tout le temps, même quand il fait sec. Le long de la Lesse, des prairies qui jaunissent, je n'ai jamais vu. Un moment donné elles ne poussent plus, mais cela reste vert. Et dès qu'il pleut, ça redémarre. Maintenant, des prairies comme derrière chez moi où il n'y a pas beaucoup de terre, dès qu'il fait sec ça jaunit, c'est cuit cuit cuit.

— Ça revient vite quand même !

— Mais tu perds deux semaines.

— Tu perds deux semaines.

— quand c'est jaune et qu'il repleut, il faut deux semaines pour dire que c'est redémarré comme il faut quoi. Et c'est ça d'avoir les deux.

— C'est le problème de la Famenne.

agric. #C & #D

'Zero night grazing' Le 'Zero Night Grazing' est une pratique adaptative qui voit le jour dans le but de palier les fluctuations climatiques récurrentes de la Famenne. Dans ce système décrit par un éleveur qui le pratique, les laitières en lactation ne pâturent plus entre la traite du soir et celle du matin (*i.e. de facto*, la nuit).

[...]

— Oui, et maintenant, j'en viens...l'année passée je l'ai fait ! ... je ne pâture plus les vaches laitières la nuit.

— Allez ? Quand il fait sec ?

— Non, même, en été, toute la période. Elles ont le maïs, leur ensilage maïs, et leurs aliments dans la mangeoire dans l'étable. C'est un front ouvert, donc c'est facile.

[— La nouvelle là ?]

— Oui, et la journée, elles vont en prairie.

— Comme les chevaux.

— Oui, ça diminue un peu la consommation et je suis plus stable au niveau de la production...

— Mais tu ne donnes pas grand-chose alors la nuit quand tu donnes à l'intérieur ?

— Non, tu donnes 15 kg de maïs. Habituellement, en hiver elles sont à 25 kg. Ça permet de palier un peu le coup de chaud qu'on aurait dans le mois de juillet ou d'août.

[— Et tu le fais quand même tout le temps ?]

— Oui, sauf le mois de mai ... où elles sortent quand même tout le temps

— Les petites herbes qui valent...

— Mais une fois début juillet, ça a toujours été...

— Et tu vois que ta prairie pousse mieux où ça ne change rien ? Qu'elles soient là la nuit dans la prairie ?

— Ça ne change rien... quand il ne fait pas sec, quand ce n'est pas une période de sécheresse, ça me permettrait quand même de récolter quelques ballots, d'emballé, [...]

agric. #A & #B

'Complémentation' & 'Achat de fourrage' Une stratégie envisagée par certains éleveurs famennois pour contrecarrer les effets d'une sécheresse estivale est la complémentation des animaux avec des fourrages de l'exploitation (foin ou maïs) et avec des fourrages ou des aliments concentrés achetés auprès d'autres éleveurs ou dans le commerce. Les deux concepts ont été reliés au sein d'une même pratique adaptative, qui est d'ailleurs requise par la pratique du 'Zero night grazing' présentée ci-dessus.

[...] Bin, quand on arrive au mois d'août et qu'il fait sec, les deux mois... on va déjà entamer une partie des réserves...

agric. #A

[...] Ah oui, mais c'est toujours l'année avant qu'on constitue la réserve de l'été, c'est ça qui est ennuyant. Si tu récoltes en octobre et que tu n'as pas beaucoup de matière, tu sais bien que si l'été prochain, tu as un souci de sécheresse, paf, il y aura un souci...

agric. #A

[...] à la limite même prévoir un peu, mettre de côté au cas où il y a des mauvaises années, tout ça, moi c'est plutôt comme ça que j'avais raisonné dans mon cas. [...]

agric. #C

[...] j'aime mieux prendre un peu de mon budget de l'hiver pour acheter une semi de nourriture pour combler le trou lors des années exceptionnelles, tu vois [...]

agric. #C

'Race' & 'Gros dos' Certains éleveurs structurent l'ensemble de leur exploitation autour d'un troupeau de race rustique qui leur permet de mieux résister aux conséquences des sécheresses. Nous avons considéré à la fois le choix de la race et le choix s'appuyer sur sa rusticité (en faisant le 'gros dos', comme exprimé) comme des adaptations réalisées consciemment par les éleveurs.

[...] Bien, moi, elles font le gros dos, elles boivent de l'eau. Elles vont à l'ombre. [...] Non, c'est pour ça que les vaches ont de la graisse. La graisse des vaches sert à ça. Elles n'ont pas de la graisse pour le plaisir, c'est pour faire des réserves. Une vache qui est grasse, elle a des réserves et elle peut rester quinze jours. Tant qu'elle a de l'eau. C'est comme nous, quand il fait chaud, on ne mange pas beaucoup. [...]

[...] si mes vaches maigrissent un peu, elles reprendront ... ça n'a rien à voir. c'est pas grave. Tant qu'il y a de l'eau. [...]

agric. #B

[...] c'est jamais que des bêtes d'élevage. Il ne faut pas qu'elles dépérissent quand même mais elles peuvent. [...]

agric. #F

Les effets des pratiques Les effets de certaines pratiques adaptatives visent à contrecarrer, à limiter ou à 'faire avec' les conséquences de la sécheresse : maintenir un niveau de 'production', 'assurer' les objectifs de productions. Certaines d'entre elles (la complémentation, l'achat de fourrage) impliquent aussi un 'coût supplémentaire' à charge de l'exploitation.

10.2.3 L'analyse systémique des capacités d'adaptation des éleveurs famennois

L'analyse descriptive des systèmes de pratiques adaptatives réalisée ci-dessus a permis de mettre en évidence la diversité des adaptations mises en place par les éleveurs pour répondre à une contrainte aléatoire de leur environnement. Les résultats de cette analyse descriptive ont ensuite été utilisés pour réaliser une analyse systémique des capacités d'adaptation des éleveurs famennois. Cette analyse systémique montre que leurs capacités d'adaptation s'appuient sur la résilience de trois pôles de leurs fermes : (i) la résilience des animaux,

(ii) la résilience de la ferme ou (iii) la résilience des prairies. Ces points sont discutés ci-dessous.

a L'adaptabilité *via* la résilience physiologique des animaux

Dans le système de pratiques adaptatives de la figure 10.5, l'élaboration des capacités d'adaptation des éleveurs *via* la résilience physiologique des animaux se reflète par les pratiques de 'Race' et 'Gros dos'. Cette stratégie consiste à assumer les conséquences d'une éventuelle sécheresse.

La résilience de la composante animale du système¹², le troupeau, est mise à profit par certains éleveurs pour répondre à une éventuelle sécheresse estivale. L'idée est de ne faire aucune adaptation et de laisser les animaux puiser dans leurs réserves pour répondre à une diminution de la ration. Elle a été exprimée par un éleveur par la métaphore du 'Gros dos'.

Le type de production animale (la spéculation) de l'exploitation et la race déterminent les capacités des éleveurs à utiliser la résilience physiologique des animaux. Cette voie est envisageable pour les troupeaux viandeux, et en particulier si ce troupeau est constitué d'individus de race rustique.

Cette voie semble, par contre, exclue pour les catégories d'animaux les plus jeunes, pour les taurillons et pour les vaches laitières en production.

[...] On doit nourrir p]rincipalement les jeunes, parce que celles que la carcasse est terminée ça changera rien, [si on ne les complémente pas en période de sécheresse] elles récupéreront un moment ou l'autre. [...]

agric. #F

[...] Un laitier il doit acheter [des aliments pour nourrir son troupeau] et nous autres ...[on peut se permettre de leur faire accuser la sécheresse] [...]

agric. #E

Les conséquences du fait de 'serrer'¹³ les bêtes sont variées. Cette pratique peut avoir des répercussions sur les performances du troupeau, notamment

12. Nous utilisons le concept de résilience dans un sens assez large. En physiologie animale, ce concept se décline en notions plus précises : flexibilité, plasticité, élasticité, résistance. Bien que nous les trouvions intéressantes, nous avons pris le pli de ne pas distinguer ces notions dans le cadre de notre thèse.

13. limiter l'alimentation du bétail à cause d'une pénurie d'aliment (sécheresse ou finance)

au niveau de la reproduction et/ou de la croissance. Elles peuvent même avoir des conséquences inattendues sur différents travaux, comme la réfection de clôtures, par exemple.

[...] *On leur serre un peu le cou comme on dit. Ils doivent faire avec ce qu'il y a. Il faut refaire les clôtures surtout... pour ne pas qu'ils aillent chez le voisin.*
[...] **agric. #E**

Cette stratégie est également empruntée par les éleveurs pour répondre à des contraintes autres que la sécheresse estivale, comme par exemple la sécheresse de printemps.

b L'adaptabilité *via* la résilience économique de la ferme

Dans le système de pratiques adaptatives de la figure 10.5, l'élaboration des capacités d'adaptation des éleveurs *via* la résilience économique (et de gestion) de la ferme se reflète par les pratiques d' 'Achat fourrage', de 'Complémentation' et d' 'Autres cultures'. Elles permettent d'atteindre les effets désirés, à savoir d' 'Assurer' la 'Production'. Elles sont également associées à un effet collatéral qui est la génération de certains 'Coûts supplémentaires'.

La résilience économique de la ferme peut également être mise à profit par certains éleveurs pour répondre aux conséquences d'une éventuelle sécheresse. Dans ce cas, l'idée est d'annihiler les conséquences des aléas climatiques en achetant les compléments nécessaires pour maintenir une ration optimale pour la production des animaux. Pour ce faire, le rôle de l'éleveur est de gérer son exploitation de manière telle qu'il garantisse sa capacité à acheter des aliments le cas échéant.

Cette voie est essentiellement envisagée par des éleveurs d'animaux dont la production quotidienne est essentielle à l'activité de la ferme. Il s'agit donc typiquement d'éleveurs laitiers pour qui une diminution de la qualité des fourrages se traduit rapidement par une diminution de la production qui a des conséquences sur les performances économiques de l'exploitation. Les types d'animaux concernés par cette stratégie adaptative ont une très faible résilience physiologique.

Les éleveurs de cette catégorie peuvent soit prévoir les années difficiles en provisionnant les bonnes années pour les années de sécheresse, soit accuser le coup en consommant déjà un peu du budget de l'hiver.

Ces éleveurs peuvent adopter cette stratégie pour une partie de leur cheptel uniquement (*e.g.* vaches en lactation, veaux en croissance) et envisager une autre stratégie pour les autres types d'animaux (*e.g.* taries, viandeuses). C'est notamment le cas pour certains éleveurs de la race Blancs Bleus Belges culards, dont les veaux élevés jusqu'à 10 mois sur l'exploitation, ne sortent pas en prairie et ne ressentent donc pas les effets d'une éventuelle sécheresse estivale. Ils sont, en effet, nourris avec des fourrages déjà récoltés (foins ou ensilage de la saison précédente) et des compléments.

[...]

[— Et les veaux alors que vous complétez ?]

— Bin, ils ne sortent pas eux.

— Ce stress-là, ils ne l'ont pas.

[— Ils ont quand même du silo aussi ?]

— Chez toi oui, mais pas chez moi. Moi je n'ai plus de silo l'été.

— Moi, en général, j'ai encore du silo l'été. En été j'en ai encore.

— Chez moi ils ont du foin et des compléments. [...] **agric. #E & #F**

Pratiquée à l'extrême, cette stratégie peut aboutir à la mise en place de système de production sans pâturage – le 'Zero grazing' – pour assurer la production. Dans ce cas, la ration est constamment adaptée en fonction de la qualité des fourrages et les animaux ne ressentent pas les effets d'une sécheresse. Aucun agriculteur rencontré n'a évoqué un tel projet. Par contre, l'un d'eux pratique depuis peu le 'Zero Night Grazing' dans le but de palier les fluctuations climatiques récurrentes de la Famenne.

c L'adaptabilité *via* la résilience écologique des prairies

Dans le système de pratiques adaptatives de la figure 10.5, l'élaboration des capacités d'adaptation des éleveurs *via* la résilience écologique des prairies se reflète par les pratiques de 'Date' et d' 'Engrais'. Elle peut également référer

à une adaptation des surfaces pâturées et fauchées, mise en évidence dans les premières phases de l'entretien.

La résilience des prairies et la flexibilité de l'utilisation des surfaces sont utilisées par certains éleveurs pour adapter la gestion de leur exploitation à des conditions de sécheresse estivale. Dans ce cas, l'idée est de garantir la ration 'optimale'¹⁴ des animaux en adaptant les superficies pâturées. Lors de sécheresses estivales, ces superficies sont augmentées. Lorsque la sécheresse estivale ne se fait pas ressentir, ces superficies sont diminuées et les zones non pâturées sont réservées pour la fauche et conservées pour une consommation ultérieure.

En Famenne, la sécheresse estivale est considérée par les éleveurs comme un événement récurrent qui caractérise une année normale. Les paramètres de la deuxième coupe (date de fauche et quantité récoltée) sont incertains. La quantité obtenue lors des bonnes années n'est pas du tout garantie chaque année, loin de là. Tenant compte du risque élevé de cette sécheresse, les éleveurs ajustent leur système pour constituer une grosse partie du stock des fourrages nécessaires pour l'hivernage lors de la première coupe. Lors des mauvaises années, les éleveurs espèrent de la deuxième coupe qu'elle puisse garantir l'appoint nécessaire pour compléter le stock et utilisent éventuellement la 'Date' de coupe comme tampon. Lors des bonnes années, par contre, les éleveurs constituent des stocks de réserves.

[...] Cette prairie, elle est ensilée en première coupe puis pâturée. Ou alors parfois, il y un regain qu'on ira re-faucher, c'est en fonction : si j'ai besoin d'herbe pour les bêtes, elle sera re-pâturée quoi, elles vont manger quoi... si j'ai pas besoin, je re-fauche... ça dépend des années [...]

agric. #40

[...] [deuxième ?] fin juillet : on emballe.. on compte 25-30 ha, c'est très variable d'une année à l'autre.. l'année passée on a eu des bonnes récoltes, mais une année normale on fait pas toujours. [...]

agric. #43

[...] [deuxième coupe ?] comme on a fait les silos fin mai, entre le 5 et le 10 juillet, si c'est la sécheresse, ce sera fin juillet. Si on a de l'eau en juin : 6 semaines après quoi. [...]

agric. #D¹⁵

14. sous-entendu 'de leur point-de-vue'

15. Citations reprises de la première phase d'enquêtes compréhensives

Les stocks de bonus constitués lors de ‘bonnes’ années sont souvent conservés en balles enrubannées ou en ballots de foin sec. Ils sont soit (i) vendus, soit (ii) thésaurisés comme appoints pour compléter les animaux lors d’années de sécheresse. Dans ce deuxième cas, on peut remarquer que la constitution d’un stock de réserve permet la complémentation des animaux sans devoir acheter des fourrages.

En cas de sécheresse estivale très marquée ou lorsque le stock de fourrage nécessaire à l’hivernage n’est pas satisfaisant, certains éleveurs parient sur une bonne arrière-saison (septembre) et prennent le risque d’investir dans la fertilisation des terres après une maigre deuxième coupe en espérant un climat plus clément en fin d’été.

10.2.4 Discussion

L’analyse des capacités d’adaptation des éleveurs qui est faite dans ce chapitre a permis, au niveau méthodologique :

- une validation de la pertinence de la méthode développée, CMASOP, pour la compréhension de systèmes complexes ;
- des développements méthodologiques pour simplifier et clarifier les opérations de codage des retranscriptions d’entretiens.

Les entretiens menés sur les contraintes et l’adaptabilité de six éleveurs ressources ont permis de confirmer l’importance de la contrainte environnementale mise en évidence lors des premières phases de notre étude, dans la carte sociale de Famenne (voir chapitre 8).

L’approche d’entretiens de paires d’éleveurs adoptée pour cette analyse est originale. Elle a permis de questionner et de contraster les pratiques de chacun. Sur base de cette première application de la méthode, il semblerait que les éléments les plus pertinents, les informations les plus riches ressortent des entretiens d’éleveurs dont les systèmes de productions sont les plus contrastés. Mais la personnalité des éleveurs en présence joue un rôle important également. Ces constatations doivent être balancées au vu de la taille de l’échantillon et demanderaient une enquête plus extensive pour pouvoir être confirmées ou infirmées.

Dans le cadre de l'analyse des capacités d'adaptation, une nouvelle méthode de codage des entretiens et de construction des cartes cognitives a été testée. Le codage est inductif et basé sur une série de concepts classés en quatre catégories : les contraintes (causes), les pratiques adaptatives, les effets et les généralités. La construction des cartes cognitives est, quant à elle, basée sur la co-occurrence des concepts et de leurs catégories. Cette nouvelle méthode permet d'aboutir rapidement à une carte cognitive complète qui prend en compte l'entièreté des entretiens (≈ 2 h00 par entretien) dans un laps de temps raisonnable (≈ 8 h00 par entretien).

D'un côté, la nouvelle méthode de codage permet un gain de temps et de productivité par rapport à la méthode initiale. D'un autre côté, les deux méthodes sont susceptibles de générer des résultats différents. En effet, si la méthode proposée ici permet de gagner en efficacité et de diminuer l'influence du chercheur sur les résultats, elle pourrait générer une analyse moins fines des relations. Face à cette question, il serait pertinent de comparer les résultats produits par l'application des deux méthodes de codage sur le même matériau.

L'application de la méthode montre qu'elle permet de mettre en évidence des groupes cohérents de pratiques adaptatives élaborées par les élèves pour répondre à une contrainte environnementale. Il est intéressant de constater que différents leviers sont utilisés par les élèves pour garantir la résilience de leur système. Cela confirme que le concept de résilience intègre non seulement une composante décisionnelle, mais aussi une composante biologique et économique.

La mise en évidence des pratiques adaptatives est réalisée via la carte sociale de l'ensemble des entretiens et reflète, ainsi, les capacités d'adaptation (*i.e.* l'adaptabilité) des élèves de manière collective. Ce choix est inhérent à celui d'interroger les élèves par pair. En effet, il ne nous a pas paru réaliste de coder les entretiens en rattachant chaque séquence à l'élève qui l'exprime, d'autant plus que celui-ci peut s'exprimer sur la situation de l'élève avec qui il discute.

Une limite de l'analyse collective des capacités d'adaptation est la difficulté de relier certaines stratégies à certains types d'élèves. Si cette opération est

envisageable sur un petit nombre d'éleveurs comme dans notre cas d'étude (six éleveurs, en trois paires), elle demanderait des développements méthodologiques particuliers pour des échantillons plus conséquents (20-30 éleveurs).

10.2.5 Perspectives

L'application de l'approche développée pour l'étude des capacités d'adaptation faite dans notre thèse est illustrative. Elle est basée sur trois entretiens (deux éleveurs par entretien). C'est trop peu pour évaluer la distribution des différentes pratiques adaptatives au sein des agriculteurs. Dans la perspective de répondre à cette question et de réaliser une typologie des agriculteurs sur base de leur capacité d'adaptation, une enquête plus extensive s'avérerait nécessaire. Il conviendrait, en plus, de trouver une solution technique pour lier les pratiques adaptatives aux éleveurs qui les adoptent :

- soit en adaptant le codage des entretiens de paires d'éleveur,
- soit en basant l'enquête extensive sur des entretiens individuels.

Une autre perspective de l'approche serait de coupler notre analyse des capacités d'adaptation avec des sources de données (enquêtes quantitatives, données de comptabilité de gestion) de manière à pouvoir évaluer l'efficacité des différentes pratiques adaptatives ayant cours dans le système socio-écologique étudié.

10.3 L'utilisation des aspects dynamiques de la méthode pour évaluer la résilience des systèmes socio-écologiques

La deuxième démarche exploratoire initiée dans cette thèse se base sur l'utilisation des propriétés dynamiques des cartes cognitives pour simuler des scénarios. Cela ouvre la voie à une finalité prospective de l'étude des systèmes de pratiques et à une évaluation de la résilience des systèmes en situation de perturbation. Les mécanismes théoriques à la base des utilisations évaluatives et prospectives étant identiques, ils ont été rassemblés dans une section unique. Nous y présentons de manière détaillée la méthode numérique utilisée dans le modèle fonctionnel des FCMs pour en explorer les propriétés dynamiques et son application à notre étude de cas. Les résultats détaillés sont présentés, quant à eux, dans l'article lié à ce volet, en annexe de ce manuscrit (annexe F).

10.3.1 Aspects méthodologiques

Comme nous l'avons présentés au chapitre 4 (Cartographie cognitive) et à la section 5.1.3, les cartes cognitives sont constituées de concepts reliés entre eux par des relations orientées et, traditionnellement, de nature causale. Chaque concept d'une carte possède une valeur qui reflète le degré avec lequel ce concept est actif au sein du système (Aguilar, 2005). Cette valeur semi-quantitative est nommée *degré d'activation* (Kok, 2009), et est utilisée pour déterminer l'état d'équilibre dynamique du système en calculant les degrés d'activation des concepts à l'équilibre (Özesmi & Özesmi, 2004). Cette méthode a été développée initialement par Kosko (1986) à partir de cartes cognitives dont les relations sont *pondérées*, les FCMs. Cela contraste avec l'utilisation des cartes cognitives simples (*cognitive maps*) utilisées dans les applications descriptive, comparative et typologique proposées ci-avant.

Les étapes de ce calcul sont exposées de manière détaillée dans les paragraphes suivants. Le modèle de la carte cognitive présentée à l'exemple 10.2

sert de base à l'illustration des mécanismes méthodologiques présentés. La définition mathématique formelle du *Fuzzy Cognitive Mapping* et de leur modèle fonctionnel fait l'objet de l'encadré 10.a à la page 265.

a Le modèle fonctionnel – l'évaluation de l'état d'équilibre des Fuzzy Cognitive Maps

Le calcul de l'état d'équilibre dynamique d'une FCM¹⁶ est un processus itératif de simulation apparenté à l'*auto-associative neuronal networks method* (Reimann, 1998). Deux éléments mathématiques sont à la base de ce processus :


- une matrice d'adjacence, E , qui est la formalisation mathématique de l'ensemble des poids des relations (e_{ij}) entre les n concepts de la carte cognitive et
- un vecteur d'état, C , constitué de l'ensemble des degrés d'activation (C_i) des n concepts. Ce vecteur d'état décrit l'état du système.

Si aucune information sur l'état d'activation initial des concepts n'est disponible, il est d'usage d'utiliser le vecteur unité ou le vecteur nul comme vecteur d'état initial du système. Précisons que dans le cas du modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping, les relations sont de nature causale et que le poids de ces relations est une mesure de cette causalité, de la force de ce lien causal.

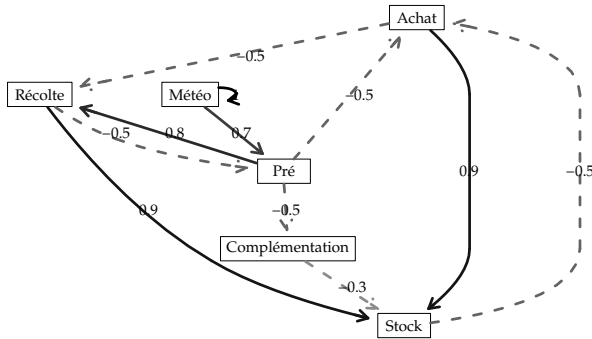
b Le calcul d'évaluation de l'état d'activation d'un concept

Le principe général du calcul à la base du modèle fonctionnel consiste à évaluer le vecteur d'état à chaque étape du processus itératif. À chaque itération, l'état d'activation d'un concept est évalué à partir (i) des états d'activation des concepts ayant un effet sur lui et (ii) des poids des relations entrantes le reliant à ces concepts. La manière dont ces éléments exercent leur influence

16. *i.e.* son *steady state*

 **Exemple 10.2** – Exemple de Fuzzy Cognitive Map

L'exemple fictif se base sur un modèle simplifié d'utilisation des ressources fourragères.




La *Météo* exerce une influence *positive* sur la croissance et la disponibilité des ressources fourragères de l'exploitation (*Pré*). La disponibilité des ressources fourragères de l'exploitation a une influence *positive* sur l'opération de *Récolte* qui exerce, quant à elle, une *retroaction négative* sur ces mêmes ressources. Ces dernières sont également reliées *négativement* à la *Complémentation* du bétail et à l'*Achat* de fourrage. La récolte et l'achat de fourrages exercent des effets *positifs* sur le *Stock* quand la complémentation y exerce un effet *négatif*. La quantité de fourrage stockée a un effet *négatif* sur les achats de fourrages. Les relations ont été pondérées approximativement en fonction de l'importance relative des relations causales. Pour cette illustration, les valeurs approximatives ont été ajustées pour éviter les phénomènes de résonance lors des simulations (voir ci-après). Pour étudier l'influence du facteur *Météo*, il a été stabilisé par une boucle d'auto-renforcement.

La matrice d'adjacence de cette FCM est représentée ci-dessous.

$$E = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.3 \\ 0 & 0 & 1 & 0.7 & 0 & 0 \\ -0.5 & -0.5 & 0 & 0 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0 & 0.9 \\ -0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (10.1)$$

dans le calcul de l'état d'activation d'un concept est présenté par l'exemple 10.3 et formalisé dans la suite du texte.

 **Exemple 10.3** – Calcul du degré d'activation d'un concept

Dans la FCM de l'exemple 10.2, le concept *Stock* est influencé (i) par l'*Achat* de fourrage via une relation dont le poids est 0.9, (ii) par la *Complémentation* via une relation dont le poids est -0.3 et (iii) par la *Récolte* via une relation dont le poids est 0.9. À t_0 , les états d'activation des deux concepts qui l'influencent sont égal à l'unité. L'état d'activation du concept *Pré* à t_1 se calcule par la formule suivante (équation 10.2) :

$$\begin{aligned}
 C_{stock}^{t_1} &= \left(C_{achat}^{t_0} \quad C_{complem.}^{t_0} \quad C_{meteo}^{t_0} \quad C_{pre}^{t_0} \quad C_{recolte}^{t_0} \quad C_{stock}^{t_0} \right) \cdot \begin{pmatrix} e_{achat-stock} \\ e_{complem.-stock} \\ e_{meteo-stock} \\ e_{pre-stock} \\ e_{recolte-stock} \\ e_{stock-stock} \end{pmatrix} \\
 &= \left(1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \right) \cdot \begin{pmatrix} 0.9 \\ -0.3 \\ 0 \\ 0 \\ 0.9 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 &= 1 \times 0.9 + 1 \times (-0.3) + 1 \times 0.9 \\
 &= 1.5
 \end{aligned} \tag{10.2}$$

Généralisant l'équation 10.2 de l'exemple 10.3, l'état d'activation du concept j à l'itération t , noté C_j^t , se calcule par le produit scalaire du vecteur d'état à l'itération $t - 1$, C^{t-1} , et le vecteur de l'ensemble des poids des relations reliant les concepts de la carte au concept j , (e_{ij}) , qui est la j^{eme} colonne de la matrice d'adjacence E .

$$\begin{aligned}
 C_j^t &= C^{t-1} \cdot (e_{ij}) \\
 &= \left(C_1^{t-1} \quad C_2^{t-1} \quad C_3^{t-1} \quad \dots \quad C_i^{t-1} \quad \dots \quad C_n^{t-1} \right) \cdot \begin{pmatrix} e_{1j} \\ e_{2j} \\ e_{3j} \\ \vdots \\ e_{ij} \\ \vdots \\ e_{nj} \end{pmatrix} \quad (10.3) \\
 &= C_1^{t-1} \cdot e_{1j} + C_2^{t-1} \cdot e_{2j} + C_3^{t-1} \cdot e_{3j} + \dots \\
 &\quad + C_i^{t-1} \cdot e_{ij} + \dots + C_n^{t-1} \cdot e_{nj}
 \end{aligned}$$

c Le calcul d'évaluation de l'état d'activation de l'ensemble des concepts

À chaque itération, le calcul des degrés d'activation se réalise simultanément pour l'ensemble des n concepts. Il s'exprime sous une forme matricielle par le produit matriciel entre le vecteur d'état $C(1 \times n)$ et la matrice d'adjacence $E(n \times n)$ (équation 10.4).

$$C^t = C^{t-1} \cdot E \quad (10.4)$$

L'équation 10.4 peut se détailler de la manière suivante (équation 10.5).

$$\begin{aligned}
 \left(C_1^t \quad \dots \quad C_i^t \quad \dots \quad C_n^t \right) &= \\
 \left(C_1^{t-1} \quad \dots \quad C_i^{t-1} \quad \dots \quad C_n^{t-1} \right) \cdot \begin{pmatrix} e_{11} & \dots & e_{1j} & \dots & e_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_{i1} & \dots & e_{ij} & \dots & e_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ e_{n1} & \dots & e_{nj} & \dots & e_{nn} \end{pmatrix} \quad (10.5)
 \end{aligned}$$

Cette formulation mène à la généralisation de l'équation 10.3 pour le calcul des degrés d'activation de l'ensemble des n concepts d'une FCM à l'itération t (équation 10.6).

$$\forall i \in 1, \dots, n, \quad C_i^t = \sum_{j=1}^n C_j^{t-1} \cdot e_{ij}. \quad (10.6)$$

— **Exemple 10.4** – Calcul des degrés d'activation des concepts —

Poursuivant l'exemple 10.3, le vecteur d'état de la FCM à l'itération t_1 , C^1 , est calculé par le produit matriciel entre le vecteur d'état initial, C^0 , et la matrice d'adjacence de la carte, E .

$$C^1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0.9 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0.3 \\ 0 & 0 & 1 & 0.7 & 0 & 0 \\ -0.5 & -0.5 & 0 & 0 & 0.8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.5 & 0 & 0.9 \\ -0.5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (10.7)$$

$$= \begin{pmatrix} -1.0 & -0.5 & 1.0 & 0.2 & 0.3 & 1.5 \end{pmatrix}$$

d La fonction de transformation

À chaque itération du calcul du vecteur d'état, une fonction peut être appliquée aux résultats de l'équation 10.6 dans le but de maintenir les degrés d'activation des concepts entre certaines limites. Une grande diversité de fonctions peut être utilisée, mais la littérature révèle que les plus communément utilisées sont les fonctions seuils (e.g. bivalent, équation 10.8), les fonctions étagées (e.g. trivalent, équation 10.9), les fonctions logistiques (e.g. équation 10.10) (Özesmi & Özesmi, 2004; Stach *et al.*, 2005). Parmi celles-ci, la fonction logistique avec $C = 1$ pour contraindre les valeurs des concepts entre $[0, 1]$ est la plus utilisée (Özesmi & Özesmi, 2004) (figure 10.6).

$$f(x) = \begin{cases} 0, x \leq 0 \\ 1, x > 0 \end{cases} \quad (10.8)$$

$$f(x) = \begin{cases} -1, x \leq -0.5 \\ 0, -0.5 < x < 0.5 \\ 1, x \geq 0.5 \end{cases} \quad (10.9)$$

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-Cx}} \quad (10.10)$$

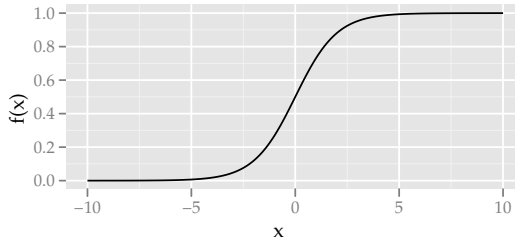


FIGURE 10.6 – Fonction logistique : $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$

Dans le cadre de notre recherche, pour accentuer le fait que certains concepts pouvaient avoir une influence négative sur d’autres (comme de mauvaises conditions météorologiques), nous avons choisi de contraindre les valeurs des degrés d’activation entre $[-1, 1]$. À cette fin, nous avons appliqué à chaque itération une fonction de transformation de type trigonométrique : la fonction tangente hyperbolique (équation 10.11), représentée à la figure 10.7.

$$f(x) = \tanh(x) \quad (10.11)$$

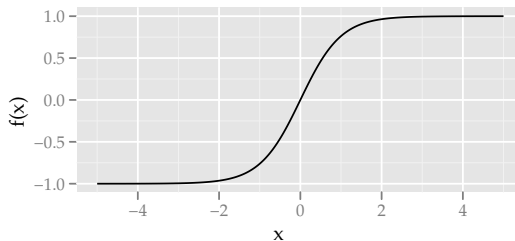



FIGURE 10.7 – Fonction trigonométrique : $f(x) = \tanh(x)$

Intégrant l’utilisation d’une fonction de transformation, la formulation générale du modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping est décrite à

l'équation 10.12 et illustrée à l'exemple 10.5. Cette formulation est équivalente à l'équation 10.14 proposée dans la définition mathématique condensée de l'encadré 10.a à la page 265.

$$\forall i \in 1, \dots, n, \quad C_i^t = f \left(\sum_{j=1}^n C_j^{t-1} \cdot e_{ij} \right). \quad (10.12)$$

Comme nous le précisons au point f de cette section (p. 266), le/la modélisateur/-trice peut choisir de fixer les valeurs des degrés d'activation de certains concepts pour toute la durée de la simulation. Ces valeurs ne sont donc pas évaluées automatiquement par la méthode présentée ci-dessus.

 **Exemple 10.5** – Transformation des degrés d'activation

Pour les simulations appliquées à la FCM de notre exemple, nous avons appliqué une fonction de transformation de type $\tanh(x)$ aux résultats des calculs des degrés d'activation des concepts. L'équation 10.7 pour le calcul du vecteur d'état à t_1 devient donc :

$$\begin{aligned} C^{t_1} &= \tanh \left(\begin{array}{cccccc} -1.0 & -0.5 & 1.0 & 0.2 & 0.3 & 1.5 \end{array} \right) \\ &= \left(\begin{array}{cccccc} -0.762 & -0.462 & 0.762 & 0.197 & 0.291 & 0.905 \end{array} \right) \end{aligned} \quad (10.13)$$

On considère que ce vecteur définit l'état du système à t_1 . Les états d'activation de ce vecteur d'état sont utilisés comme données d'entrée pour le calcul du vecteur d'état à t_2 .

e Le calcul itératif et l'équilibre dynamique du système

La simulation d'une FCM décrite par l'équation générale du modèle fonctionnel des FCMs (équation 10.12) génère une série de vecteurs d'état qui décrivent l'état du système à chaque itération (Stach *et al.*, 2005). Le processus itératif est poursuivi jusqu'à la détermination de l'état d'équilibre dynamique du système. Cet état du système est atteint lorsque les états d'activation des concepts atteignent des valeurs qui restent stables au fur et à mesure des itérations. Cet état d'équilibre peut être considéré comme dynamique dans le

Encadré 10.a – Définition d'une *Fuzzy Cognitive Map*

Soient

- \mathbb{R} , l'ensemble des réels,
- \mathbb{N} , l'ensemble des entiers naturels,
- $K = [-1, 1]$,
- $L = [0, 1]$.

Nous définissons une Fuzzy Cognitive Map F comme un quadruplet (N, E, C, f) où

1. $N = N_1, N_2, \dots, N_n$ est un ensemble de n concepts qui forment les nœuds d'un graphe.
2. $E : (N_i, N_j) \rightarrow e_{ij}$ est une fonction de $\mathbb{N} \times \mathbb{N}$ dans K attribuant e_{ij} à une paire de concepts (N_i, N_j) , avec e_{ij} désignant le poids d'une relation orientée de N_i à N_j . $E(N \times N) = (e_{ij}) \in K^{n \times n}$ est une matrice d'adjacence.
3. $C : N_i \rightarrow C_i$ est une fonction qui à chaque concept N_i associe la séquence de ses degrés d'activation tel que pour $t \in \mathbb{N}, C_i(t) \in L$ donne son degré d'activation au moment t . $C(0) \in L^n$ désigne le vecteur d'état initial et précise les valeurs initiales des concepts et $C(t) \in L^n$ est le vecteur d'état à l'itération t .
4. $f : \mathbb{R} \rightarrow L$ est une fonction de transformation incluse dans la relation récurrente entre $C(t + 1)$ et $C(t)$ pour $t \geq 0$.

$$\forall i \in 1, \dots, n, \quad C_i(t + 1) = f \left(\sum_{j=1}^n e_{ij} C_j(t) \right). \quad (10.14)$$

L'équation 10.14 présente le modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping (Stach *et al.*, 2005).

sens où l'état d'activation de chaque concept j est calculé à chaque itération à partir des états des concepts qui exercent une influence sur le concept j .

Dans la pratique, la boucle du calcul itératif est conditionnée par le fait qu'au moins un état d'activation doit avoir subi une variation d'au moins un pour mille durant les cinq dernières itérations (équation 10.15). Si cette condition n'est pas remplie, à savoir si l'ensemble des états d'activation varient de moins d'un pour mille durant cinq itérations, l'état du système est considéré comme ayant atteint l'équilibre. Cette condition est exprimée mathématiquement ci-après.

$\forall t \in [1, 5], \mathbf{C}^t$ est évalué ; $\forall t > 5, \mathbf{C}^t$ est évalué si et seulement si

$$\exists i \in 1, \dots, n \wedge \exists k \in [1, 5], \left| \frac{C_i^{t-k} - C_i^{t-k-1}}{C_i^{t-k}} \right| > 0.001 \quad (10.15)$$

Sur base de la carte cognitive de l'exemple 10.2, la simulation de l'état d'équilibre dynamique du système est illustrée à l'exemple 10.6.

La plupart des modèles de FCMs décrits dans la littérature scientifique montre que les simulations atteignent l'équilibre après une dizaine d'itérations (Özesmi & Özesmi, 2004; Kok, 2009; Papageorgiou *et al.*, 2009). Dans la pratique, Kok (2009) remarque que l'équilibre est généralement atteint après 20-30 itérations. Selon les simulations que nous avons réalisées, certains modèles plus complexes, contenant des phénomènes de rétroactions caractéristiques peuvent subir des phénomènes de résonance et n'atteindre l'équilibre qu'après plusieurs centaines d'itérations. Dans d'autres types de cartes, des phénomènes¹⁷ tels que *fixed-point attractor*, *limit cycle* ou *chaotic attractor* peuvent apparaître (Stach *et al.*, 2005).

f La simulation de scénarios

Le modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping et la détermination de l'état d'équilibre dynamique du système ouvrent la voie à des simulations

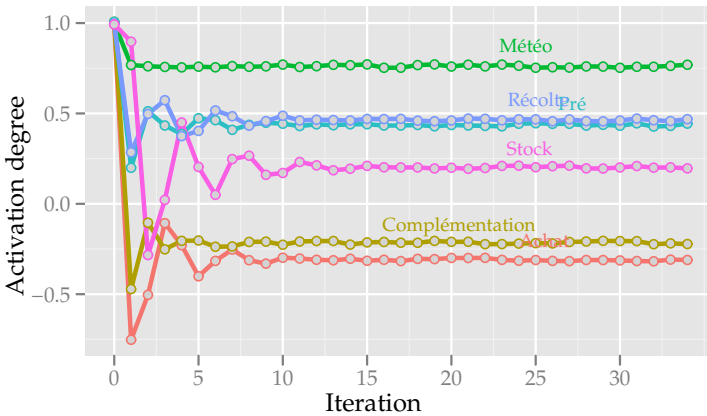
17. Ces phénomènes sont évoqués également au début de ce chapitre, notamment à la section 10.1.1, p.228 et font l'objet d'une présentation graphique à la figure 10.1

📌 **Exemple 10.6** – Équilibre d'une Fuzzy Cognitive Map

Le modèle fonctionnel de l'équation 10.12 a été appliqué à la FCM de l'exemple 10.2. Une fonction de transformation de type $\tanh(x)$ a été utilisée dans le calcul pour limiter les états d'activation à des valeurs de $[-1, 1]$. Le tableau ci-dessous reprend le vecteur d'état à différentes itérations.

	t=0	t=1	t=2	t=3	t=11	t=12	t=33	t=34
Achat	1	-0.762	-0.501	-0.113	-0.297	-0.318	-0.309	-0.309
Compl.	1	-0.462	-0.098	-0.247	-0.215	-0.211	-0.215	-0.215
Météo	1	0.762	0.762	0.762	0.762	0.762	0.762	0.762
Pré	1	0.197	0.504	0.425	0.428	0.438	0.436	0.436
Récolte	1	0.291	0.492	0.574	0.461	0.455	0.465	0.465
Stock	1	0.905	-0.277	0.021	0.231	0.209	0.202	0.202

La figure ci-dessous montre l'évolution des états d'activation des différents concepts au cours de la simulation.



L'état d'activation initial du concept *Météo* a été fixé à la valeur 1 et a été maintenu à $\tanh(1) = 0.762$ à chaque itération dans le but de simuler des conditions météorologiques considérées comme favorables. Dans ces conditions, on remarque que les concepts *Récolte* et *Pré* ont les états d'activation parmi les plus élevés (0.465 et 0.436, respectivement). Celui du *Stock* trouve son équilibre à une valeur moyenne (0.202). Les valeurs les plus faibles sont observées pour les concepts *Complémentation* et *Achats* : -0.215 et -0.309 respectivement.

Les résultats de cette première simulation indiquent qu'en conditions météorologiques favorables, la pousse de l'herbe dans les prairies est abondante et en suffisance pour le pâturage des animaux, pour la récolte de foin et pour la constitution des stocks fourragers. Dans ces conditions, la complémentation des animaux reste faible ainsi que les achats de fourrage.

pour l'évaluation de scénarios (Özesmi & Özesmi, 2004; Stach *et al.*, 2005; Kok, 2009).


L'impact de différents scénarios sur l'équilibre dynamique est testé de différentes façons. Les plus communes sont : (i) contraindre les états d'activation initiaux d'un ou de plusieurs concepts de la FCM et (ii) contraindre la valeur de l'état d'activation de concepts pendant toute la simulation.

Dans l'exemple 10.6, nous avons déjà utilisé ces mécanismes en fixant l'état d'activation du concept *Météo* à une constante élevée pour simuler des conditions météorologiques favorables. Pour l'illustration de la comparaison de scénarios, nous avons simulé de 'Mauvaises conditions météorologiques', en fixant l'état d'activation initial du concept *Météo* à la valeur -1 et en le contraignant durant tout le processus à la valeur $\tanh(-1) = -0.762$. Les résultats sont présentés à l'exemple 10.7.

g La comparaison des systèmes de pratiques et l'évaluation de la résilience

Les principes méthodologiques de la troisième application de notre approche sont présentés ci-dessus et sont illustrés par un exemple de système de pratiques. Nous avons montré la possibilité de calculer un état d'équilibre du fonctionnement du système modélisé pour un système de pratiques illustratif. Nous avons également montré la possibilité d'évaluer les effets d'une variation des conditions environnementales sur cet état d'équilibre dans le cadre du système de pratiques modélisé.

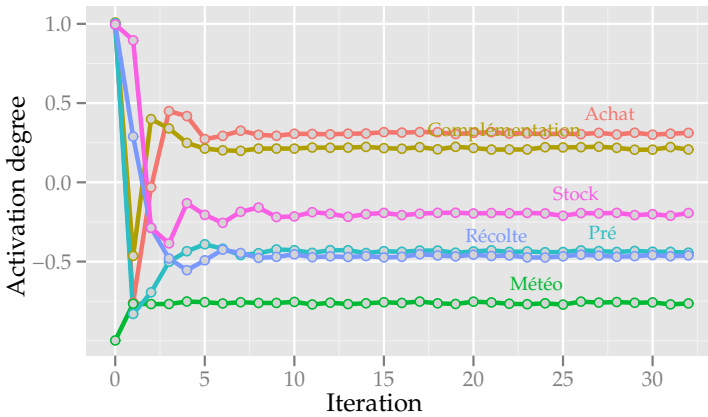
L'intérêt de cette approche réside dans la comparaison de systèmes de pratiques distincts sur base des résultats de simulation. En effet, l'intégration du modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping à notre approche sur les systèmes de pratiques ouvre la voie à l'évaluation de la capacité des agriculteurs à répondre, *via* leurs pratiques, à une contrainte environnementale pour en minimiser les effets sur le fonctionnement de leur exploitation.

 **Exemple 10.7** – FCM & évaluation de scénarios

Le tableau ci-dessous reprend le vecteur d'état à différentes itérations de la simulation du scénario 'Mauvaises conditions météorologiques' sur la FCM.

	t=0	t=1	t=2	t=3	.	t=11	t=12	.	t=31	t=32
Achat	1	-0.762	-0.036	0.449	.	0.315	0.304	.	0.309	0.309
Compl.	1	-0.462	0.394	0.331	.	0.214	0.217	.	0.215	0.215
Météo	-1	-0.762	-0.762	-0.762	.	-0.762	-0.762	.	-0.762	-0.762
Pré	1	-0.834	-0.689	-0.509	.	-0.44	-0.436	.	-0.436	-0.436
Récolte	1	0.291	-0.279	-0.488	.	-0.466	-0.469	.	-0.465	-0.465
Stock	1	0.905	-0.277	-0.381	.	-0.188	-0.198	.	-0.202	-0.202

La figure ci-dessous montre l'évolution des états d'activation des différents concepts au cours de la simulation.



On remarque, dans ce cas, que les concepts *Récolte* et *Pré* présentent des états d'activation à l'équilibre nettement plus bas (-0.465 et -0.436) que la plupart des concepts et nettement plus bas que dans la première simulation (à l'opposé de signe, précisément). Cela reflète une croissance végétale moindre et, en conséquence, une récolte plus maigre. Inversement, les concepts *Achat* et *Complémentation* possèdent des valeurs positives (0.309 et 0.215) les plus élevées du graphique, à l'opposé de signe des valeurs issues de la première simulation. Ces éléments reflètent la stratégie des éleveurs pour contrecarrer les effets des conditions météorologiques défavorables et pour garantir la constitution des stocks fourragers. Le *stock*, quant à lui, garde un état d'activation intermédiaire à -0.202 , également à l'opposé de signe par rapport à la première simulation. On peut également souligner que, dans cet exemple, l'incertitude du climat est intégrée dans le système de l'éleveur et qu'il assure un stock fourrager suffisant via un mécanisme d'adaptation de ses pratiques.

10.3.2 L'application du modèle fonctionnel à l'étude de cas

Dans le cadre de notre thèse, nous avons exploré la possibilité d'appliquer le modèle fonctionnel des FCMs (section 10.3, p.257) aux systèmes de pratiques. L'application de ces mécanismes vise le développement de la finalité évaluative et prospective de notre méthode.

Les deux systèmes de pratiques contrastés identifiés par la typologie ont été utilisés comme base pour la confection des FCMs centrées sur la gestion de la fauche. La pondération des relations des deux FCMs a été réalisée sur base des cartes cognitives sociales des deux groupes. L'état d'équilibre de ces deux systèmes a été évalué (voir chapitre 5, section 10.3 et encadré 10.a, p.265). Pour chacun de ces deux systèmes de pratiques contrastés, deux situations climatiques contrastées ont été simulées : une année clémente ('bonne') et une année marquée par des conditions climatiques dégradées ('mauvaise').

Les premiers résultats de cette application exploratoire sont présentés et discutés dans l'article publié et repris en annexe de ce manuscrit (annexe F).

10.3.3 Discussion

Pour étudier la résilience des systèmes socio-écologiques, nous avons proposé d'utiliser une méthode basique du modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping pour étudier les aspects dynamiques des systèmes de pratiques (voir section 10.3 à la page 257). Ces développements ont confirmé la possibilité d'utiliser la cartographie cognitive pour mettre en évidence et quantifier de manière relative l'influence des systèmes de pratiques sur certains indicateurs de fonctionnement de l'exploitation. Plus précisément, elles ont permis d'illustrer les propriétés dynamiques des systèmes de pratiques en simulant l'influence d'une contrainte environnementale (la sécheresse estivale) sur un indicateur de fonctionnement de l'exploitation (le stock d'herbe) pour différents systèmes de pratiques. Les résultats des simulations ont montré des contrastes nets entre les systèmes de pratiques (voir annexe F).

Toutefois, notre expérience n'a pas abouti à une réelle quantification de la résilience. En effet, pour cette partie de la thèse, notre démarche expérimentale

est restée à un stade exploratoire. D'un point de vue technique et méthodologique, elle a soulevé une série de questionnements qui n'ont pas été résolus. De plus, d'un point de vue plus fondamental, l'indicateur de fonctionnement utilisé ne reflète qu'une petite partie de la complexité de la résilience des systèmes socio-écologiques.

Dans les points ci-après, nous présentons les questions techniques soulevées par notre expérience. Ces questions concernent (i) la constitution des cartes cognitives synthétiques, (ii) la valeur du degré d'activation initial des variables de la carte, (iii) les boucles de rétroactions et (iv) le caractère dynamique et évolutif du modèle proposé. Certains de ces éléments seront repis dans la section suivante pour dresser les perspectives de notre recherche (section 10.3.4).

a La constitution des cartes synthétiques

Une question concerne la constitution des cartes synthétiques. CMASOP permet la modélisation des systèmes de pratiques sous forme de cartes cognitives dont les relations sont de nature variée : séquence d'opérations, résultat d'une opération, utilisation d'un objet (produit), condition pour une opération ou un produit, constat général (voir chapitre 7). La méthode de simulation basée sur la cartographie cognitive requiert, par contre, des cartes cognitives dont les relations sont uniquement de nature causale. Pour réaliser les simulations, deux cartes synthétiques 'causales' ont été constituées et pondérées sur base (voir annexe F) :

- du poids de certaines relations des cartes cognitives sociales des deux types de systèmes de pratiques révélés par la classification (chapitre 8),
- de statistiques descriptives et
- de raisonnements logiques pour compléter les relations manquantes.

Différentes méthodes ont été proposées dans la littérature scientifique pour calibrer la pondération des cartes cognitives : (i) réalisation et validation des cartes par un panel d'experts (Özesmi & Özesmi, 2004) ou (ii) l'utilisation de méthodes d'apprentissage pour générer automatiquement les cartes sur base de données historiques (Stach *et al.*, 2005).

b La valeur du degré d'activation initial des variables

La valeur du degré d'activation initial des variables est problématique si elle a une influence sur l'état d'équilibre de la carte. Sans information précise sur cette valeur, dans notre approche, nous l'avons fixée à l'unité pour l'ensemble des variables de notre modèle. La pratique de fixer une valeur unique, 0 ou 1, pour l'ensemble des variables d'une carte cognitive est simpliste. Elle est néanmoins couramment proposée dans les publications utilisant la cartographie comme outil de simulation (Özesmi & Özesmi, 2004; Kok, 2009).

c Les boucles de rétroaction

Un des intérêts des méthodes de simulation basées sur la cartographie cognitive réside dans la possibilité d'intégrer aisément des phénomènes de rétroactions (Dickerson & Kosko, 1994). Notre carte synthétique ne contient pas de boucles de rétroactions. Cela se traduit par une relative pauvreté des phénomènes dynamiques mis en évidence par les simulations (figures F.3 et F.4, pages 316 et 318).

Il est probable que l'absence de boucle de rétroactions dans les systèmes de pratiques modélisés découle du fait qu'ils ne concernent qu'une partie trop restreinte de l'exploitation. Une modélisation des pratiques fourragères dans leur ensemble, intégrant des variables supplémentaires (ensilage de maïs, prix des aliments achetés, ...), pourrait faire apparaître des phénomènes de rétroactions.

d Un système dynamique – finalement – peu évolutif

Une autre limite du modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping tient dans la constance du poids des relations des cartes. Cela ne permet pas de rendre compte pleinement des pratiques adaptatives des agriculteurs.

Dans le modèle fonctionnel, tel que nous l'avons utilisé, nous avons simulé l'effet d'une contrainte environnementale sur l'exploitation uniquement en

figeant la valeur de l'état d'activation de la variable correspondant à cette contrainte. Cependant, l'étude des capacités d'adaptation des agents a montré la mise en place de pratiques adaptatives complexes dans un environnement évolutif et incertain. Dans le cas où la contrainte environnementale se manifeste, c'est bien l'ensemble du système de pratiques qui pourrait être adapté et impliquer une évolution de la structure même du modèle des systèmes de pratiques : nouvelles variables, nouvelles relations, variation du poids des relations.

10.3.4 Perspectives

L'application exploratoire du modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping aux systèmes de pratiques conduit à des résultats globalement cohérents. Cependant, différentes questions ont été soulevées et discutées ci-avant (section 10.3.3) et dans notre article (annexe F). Ces questions concernent essentiellement (i) la construction des cartes cognitives pondérées et (ii) le caractère très statique et déterministe de l'évaluation de la résilience, le fait que le modèle intègre très peu, finalement, les incertitudes de l'environnement, *i.e.* des perturbations inattendues, et les capacités d'adaptation des agents pour répondre à ces incertitudes/perturbations. Nous dressons ici quelques perspectives méthodologiques qui pourraient constituer des pistes pour une évaluation de la résilience des systèmes socio-écologiques ancrée dans les connaissances des agents.

a Une création des cartes *in situ* par les agents

Dans notre application, les aspects dynamiques des systèmes de pratiques ont été simulés à partir de FCMs synthétiques. Les cartes synthétiques ont été créées sur base des cartes cognitives sociales, qui sont elles-mêmes des sommes des cartes cognitives individuelles aux relations non pondérées d'un groupe d'acteurs ayant des systèmes de pratiques relativement similaires. Cette méthode, choisie pour l'aisance de sa mise en œuvre, présente la limite qu'elle génère une carte d'un système 'moyen' qui ne correspond pas à un cas particulier. De plus, CMASOP possède la propriété de générer des cartes

cognitives dont les éléments sont reliés entre eux par des relations de nature variée, alors que le modèle fonctionnel exige des relations causales.

Une alternative pourrait consister en une génération de cartes cognitives individuelles dont les relations pondérées sont uniquement de nature causale. La génération des cartes pourrait être réalisée avec les agents, qui doivent alors être aptes à schématiser leurs systèmes socio-écologiques et leurs pratiques en terme de réseau de concepts.

b Une évaluation des capacités d'adaptation en compagnie des agents

Dans l'application exploratoire proposée, la capacité d'adaptation des agents et la résilience des systèmes sont évaluées de manière assez déterministe en évaluant l'état de stabilité d'un système de pratiques (deux systèmes de pratiques testés) dans certaines conditions (deux scénarios testés). L'effet de la perturbation (la sécheresse estivale) sur le système est simulé en scénarisant une situation du 'pire des cas' (*worst case*) dans laquelle le degré d'activation du concept lié à la perturbation (*météo*) est fixé à une valeur minimale (-1) pendant toute la simulation.

Deux voies d'amélioration sont envisagées comme perspectives de la méthode dans ce cadre : une voie purement quantitative, basée sur la statistique et une voie semi-qualitative.

Pour prendre en compte l'incertitude qui caractérise les perturbations environnementales, une première amélioration de l'approche pourrait consister à associer une fonction de probabilité au degré d'activation de certaines variables pour disposer d'un modèle stochastique. Il pourrait également être intéressant de réaliser des simulations durant lesquelles la valeur du degré d'activation de la perturbation évolue de manière aléatoire.

Pour améliorer la mise en évidence des capacités d'adaptation des agents en situation d'incertitude, une méthode de modélisation d'accompagnement

pourrait s'avérer pertinente (Etienne, 2010). Le principe consisterait, dans notre cas, en

1. une schématisation du système de pratiques de l'acteur dans une situation stable ;
2. une évaluation de la dynamique de ce système dans la situation actuelle ;
3. la simulation d'une perturbation environnementale sur le fonctionnement du système ;
4. et essentiellement une discussion des adaptations des pratiques mises en œuvre par l'acteur pour répondre à cette perturbation afin d'en limiter les effets.

c Une intégration des modèles des systèmes de pratiques avec les modèles des systèmes socio-écologiques pour une évaluation de la résilience

La recherche que nous avons menée se focalise sur l'analyse des pratiques des agents dans la gestion des systèmes socio-écologiques. De ce fait, l'évaluation de la résilience des systèmes socio-écologiques, identifiée comme perspective de notre recherche, est elle-même centrée sur la composante décisionnelle. Mais le concept de système socio-écologique reflète une réalité marquée par une grande complexité (Walker *et al.*, 2002) et dont les composantes de la résilience sont multiples : non seulement décisionnelle, mais aussi biologique, économique, sociale . . . (Berkes *et al.*, 1998).

L'étude et l'évaluation de la résilience des systèmes socio-écologiques exigeraient donc l'intégration de l'ensemble de ces composantes. Réaliser le cahier des charges des développements méthodologiques nécessaires à cette fin est une entreprise qui dépasse très largement le cadre des perspectives de ce travail. Cependant, il est intéressant de remarquer que l'objet conceptuel utilisé dans le cadre de nos recherches sur les pratiques est employé par ailleurs pour étudier (i) la complexité des relations trophiques dans les systèmes écologiques (Ulanowicz *et al.*, 2014), (ii) en économie pour étudier l'interdépendance des industries (Miller and Blair, 1985 in Fath & Patten, 1999), (iii) en sciences sociales, pour le cas des réseaux sociaux (Borgatti *et al.*, 2009).

De manière plus particulière, en écologie, l'utilisation des réseaux a été suggérée par E.P. Odum dans les années cinquante et a été popularisée par les travaux de B. Hannon et de R.E. Ulanowicz dans les années septante et quatre-vingt (Hirata & Ulanowicz, 1984; Fath *et al.*, 2007). Dans ce cadre, une méthodologie particulière a été développée, l'*ecological network analysis*, dans le but d'analyser de manière holistique les interactions environnementales (Fath *et al.*, 2007). Elle permet de représenter les principaux flux de biomasse (carbone, azote, phosphore, en $gC/N/Pm^{-2}y^{-1}$) dans l'écosystème.

Une méthodologie de *network analysis* a également été appliquée à l'étude des agro-écosystèmes pour étudier l'influence des pratiques sur les flux de nutriments (Rufino *et al.*, 2009). Dans cette étude, les systèmes de pratiques comparés sont statiques et ne sont pas soumis à des influences extérieures (prix du marché, météorologique) et donc ne permettent pas d'adaptation.

Le couplage de ce type de modèles d'agro-écosystèmes avec les modèles des systèmes de pratiques (CMASOP) constitue une piste pour l'étude plus précise des capacités d'adaptation des agriculteurs pour pérenniser leur activités. Elle est rendue possible par la concordance entre les objets maniés par les différentes méthodologies, sous leurs formes conceptuelles (réseaux de concepts) et mathématiques (matrices).

CONCLUSION GÉNÉRALE

CONCLUSION GÉNÉRALE

LES PRATIQUES sont les manières de mettre en œuvre des techniques. Dans la gestion des systèmes socio-écologiques, elles s’ancrent dans un contexte, un environnement économique, écologique et social particulier, situé à la fois dans l’espace et dans le temps¹. Le contexte dans lequel les agents en charge de la gestion des systèmes socio-écologiques prennent des décisions et élaborent des stratégies est caractérisé par une évolution permanente et de profondes incertitudes². Ces propriétés sont particulièrement marquées de nos jours par la globalisation des échanges, la fluctuation du prix des produits, l’épuisement des ressources fossiles, les changements climatiques globaux³.

Dans le cas particulier des systèmes agraires, ces pratiques sont réalisées dans l’optique de garantir la prospérité et la qualité de vie des fermiers et de leurs familles en pérennisant l’exploitation du milieu pour produire : aliments pour les humains ou les animaux, fibres, agro-carburants, produits médicinaux ou ornementaux⁴. Contextualisées et intentionnées, les pratiques agricoles sont étroitement liées aux hommes et aux femmes qui sont au cœur de la gestion de la ferme. Elles reposent non seulement sur les connaissances qu’ont les agriculteurs et les agricultrices des techniques mais aussi sur leur personnalité et leurs manières de concevoir le monde⁵. La part importante des facteurs humains dans l’adoption des pratiques leur confère deux propriétés : une complexité ‘intra-ferme’ et une diversité ‘inter-fermes’.

Le nombre et la nature des facteurs qui sont en interaction avec le développement et l’adoption des pratiques dans les systèmes socio-écologiques font

1. Landais *et al.* (1988)

2. Ascough *et al.* (2008); Darnhofer *et al.* (2008); Dedieu *et al.* (2008); Dedieu & Ingrand (2010)

3. McIntyre *et al.* (2009)

4. *idem*

5. Darré *et al.* (2004)

des pratiques un objet d'étude complexe. Cette complexité explique, peut-être, d'une part la difficulté des démarches réductionnistes et cartésiennes à les appréhender et d'autre part le fait que leur étude coïncide avec l'émergence et le développement des approches systémiques. Ainsi, la pertinence de ces approches pour l'étude des pratiques s'explique, entre autre, par (i) la possibilité qu'elles offrent d'intégrer des approches et des méthodes issues de disciplines variées (sciences humaines et sociales, sciences de la nature et de l'ingénieur) et par (ii) leur représentation de la réalité sous la forme d'éléments de nature variées en interaction les uns avec les autres.

Dans notre recherche doctorale, nous avons développé une approche pragmatique et systémique pour l'analyse des pratiques dans les systèmes socio-écologiques. Ces développements méthodologiques se sont inscrits dans l'étude d'un cas : la gestion des prairies dans les systèmes d'élevages bovins en Ardenne et en Famenne (Belgique).

La base de notre approche consiste en une méthode de modélisation des *systèmes de pratiques*⁶. Les modalités techniques de la modélisation ont été conçues pour intégrer la complexité des pratiques des agents et de l'environnement dans lequel elles ont cours.

Les données s'ancrent dans le discours des agents. Les données consistent en des descriptions qualitatives, par les agents eux-mêmes, des pratiques qu'ils adoptent dans la gestion de leur système. Ces données sont collectées en ferme lors d'entretiens compréhensifs semi-dirigés.

La technique de modélisation est flexible. Les pratiques sont modélisées de manière très souple, sous la forme d'une carte cognitive, dont la formulation graphique est un réseau de concepts.

L'originalité de la méthode réside dans la génération des modèles – les systèmes de pratiques sous forme de cartes cognitives – par un codage inductif des transcriptions d'entretiens. Chaque entretien d'agent est à la base de son système de pratiques.

L'approche méthodologique développée a été appliquée à la description de la complexité⁷ des pratiques des éleveurs et à la mise en évidence de la diversité

6. Chapitre 5

7. Chapitre 7

de ces pratiques⁸ au sein de deux régions agro-écologiques : l'Ardenne et la Famenne. Elle a également été utilisée pour initier deux recherches exploratoires en vue de caractériser les capacités d'adaptation de ces éleveurs⁹ et la résilience des systèmes. Ces derniers développements ont également été appliqués à notre étude de cas, notamment par rapport au risque de sécheresse qui caractérise la Famenne¹⁰.

L'étude descriptive des systèmes de pratiques a permis d'illustrer la possibilité et la pertinence d'utiliser une méthode de modélisation des pratiques qui soit à la fois (i) ancrée dans le discours des éleveurs de manière à intégrer leurs visions du monde, et (ii) simple et procédurale afin d'être accessible aux chercheurs des sciences de la nature. On a montré que l'approche permettait de modéliser les systèmes de pratiques dans toute leur complexité, intégrant des éléments de nature technique, sociale, économique ou écologique mis en relation sur base des connaissances et des conceptions de l'agent. Dans ce cadre, notre approche ouvre des perspectives pour le diagnostic des pratiques de gestion dans des systèmes socio-écologiques peu documentés.

L'utilisation de notre approche de modélisation en combinaison avec diverses approches statistiques a permis de révéler et de caractériser la diversité des systèmes de pratiques au sein des systèmes agraires étudiés. Couplée à une analyse comparative et à des tests d'hypothèses, l'approche permet de mettre en évidence des différences entre les systèmes de pratiques de groupes d'agents. Couplée à une classification des cartes cognitives, l'approche aboutit à une nouvelle partition des agents, basée sur leurs systèmes de pratiques, et donc à une typologie des systèmes de pratiques. Dans ce cadre, notre approche ouvre, entre autres, des perspectives pour la mise en évidence des *farming styles*¹¹ au sein d'une communauté d'agriculteurs.

L'étude des capacités d'adaptation a été réalisée de manière exploratoire à l'aide d'une variante de l'application descriptive de notre approche. Les résultats préliminaires issus d'un petits jeux de données suggèrent la possibilité de rendre compte des groupes cohérents de pratiques adaptatives élaborées

8. Chapitre 8

9. Chapitre 10

10. Chapitre F

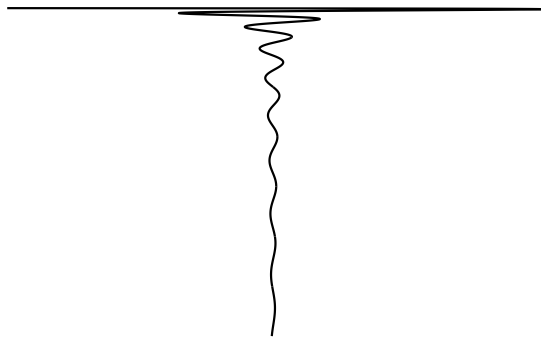
11. van der Ploeg (1994, 2010)

par les éleveurs pour répondre aux conséquences d'une éventuelle sécheresse estivale sur la constitution des stocks fourragers. Pour développer leurs capacités d'adaptation, les éleveurs s'appuient sur la résilience – *i.e.* la capacité à absorber des perturbations et à se réorganiser – de différents pôles : (i) la résilience physiologique des animaux, (ii) la résilience économique de la ferme ou (iii) la résilience écologique des prairies.

Une limite de notre approche réside dans ses exigences en temps. Les perspectives d'amélioration identifiées sont : (i) un cadre préalable du champ de la recherche pour limiter la longueur de chaque entretien (ii) et, éventuellement, une retranscription et un codage en continu des données qui permettrait d'évaluer la saturation du matériau et de limiter le nombre d'entretiens. Le gain de temps issu de ces potentielles améliorations se répercute, évidemment, sur les phases de retranscription et de codage des entretiens.

Une deuxième limite de notre approche découle de sa difficulté à rendre compte des phénomènes dynamiques qui caractérisent le fonctionnement des systèmes socio-écologiques et leur environnement. Deux perspectives de développement ont été identifiées. La première s'inscrit dans le champ des sciences sociales et vise un suivi dans le temps des agents et, avec eux également, l'évaluation des pratiques, de leur adaptation et de la résilience du système. Cette amélioration pourrait également jouer le rôle d'étape de discussion et de validation de la démarche et des résultats. La deuxième s'inscrit dans le champ des sciences de la nature et de l'ingénieur en s'appuyant sur les développements récents de l'utilisation des réseaux pour représenter les systèmes complexes. Ces méthodes viennent du monde de la physique et ont l'avantage d'utiliser le même type d'objet mathématique que celui que nous avons utilisé dans notre thèse : les réseaux.

Au global, notre thèse illustre la capacité de la recherche scientifique à développer des approches méthodologiques originales pour l'étude d'objets humains, sociaux, des objets complexes que sont les pratiques dans la gestion des systèmes socio-écologiques.



Salzannes, le 29 avril 2014

ANNEXES

GRILLE D'ENTRETIEN

Informations générales

1. **Nom** :
2. **Prénom(s)** :
3. **Coordonnées** (adresse, téléphone, e-mail, ...) :

Structure de l'exploitation agricole

1. **Histoire** de l'exploitation (depuis ~1900, 1 ou 2 génération(s) avant lui...)
2. **Milieu naturel** : types de sol, topographie, climat,...
3. **Superficie** : Surface Agricole Utile (SAU) en propriété ou en fermage
 - (a) « **Carte mentale** » de l'exploitation ou orthophotoplan
 - (b) cultures : ...
 - i. autoconsommées ...
 - ii. vendues ...
 - (c) prairies : ...
 - i. permanentes : ...
 - ii. temporaires : ...
 - (d) bois : ...
4. **Travail** - UTA (UMO, UTH...) :
 - (a) à temps plein : ...
 - (b) à temps partiel : ...
 - (c) saisonniers, entraide,...
5. **Cheptel**
 - (a) UGB : ...
 - (b) Taux de liaison au sol : ...
 - (c) Spéculation + races : ...
 - (d) Produits ...
6. **Autres activités de l'exploitation** (vente directe, gîte, ...) : ...
7. **Matériel** : équipement, CUMA, entraide, travail par entreprise, ...

Système d'élevage

1. **Spéculation(s)**
2. **Inscription** des animaux, HBBBB, concours, contrôle laitier,...
3. **Contention** des animaux et influences sur l'alimentation des lots
4. Principaux critères de **sélection** : taureau

5. Identification des **lots d'animaux** (nom ?)
6. **Évolution** de ces lots au cours de l'année : apparition-disparition
7. Principaux **événement de conduites** des lots (période, borne, pics et fluctuations) :
 - (a) Reproduction : Saillie, Insémination, Vêlage (age au premier + intervalle), Sevrage, ...
 - (b) Alimentation : Mis à l'herbe, Rentré, Ration hivernale (élaboration : conseiller, ...), Complémenté en prairie, ... (+ objectifs d'alimentation : maintien de l'état, reconstitution ou mobilisation des réserves corporelles)
 - (c) Performances attendues et productions & nombre de lactation (min-moy-max), réforme
8. **Hiérarchisation** des lots ?
9. Identification des **périodes clés** pour la conduite des lots
10. Méthodes d'**enregistrement** de ces infos : carnets, programmes, ... (demander à voir ?)

Système herbager

1. Identifications des différents **types de surfaces** (+ type de sol, exposition, distance de l'exploitation) :
 - (a) Prairies permanentes
 - (b) Prairies temporaires
 - (c) Cultures
 - (d) ...
2. Pour chaque type de surface :
 - (a) **Saison de pousse** (dates et fluctuations)
 - (b) **Analyses** de sol
 - (c) Grandes étapes de l'**itinéraire technique** : semis, travail du sol, fumures (lien avec les analyses de sol), pulvérisation, fauche, ... + identification des règles de décision
 - (d) Constitution des **stocks** (ensilage, enrubbage, foin, etc.) (dates, quantités et fluctuations)
 - (e) **Utilisation des types de surface lot par lot** & mode de prélèvement (tri, complet, ...)
 - (f) **Distribution** d'aliments : foin, paille, concentrés, minéraux, etc.
3. **Périodes importantes** et enjeux pour la maîtrise de la végétation : ...
4. Y a-t-il un **calendrier prévisionnel** de pâturage, de fauche, ...

Système fourrager

1. Évaluation des **stocks** de fourrages : silo, balles, ...
2. **Analyses** des fourrages
3. **Relations** et échanges avec l'extérieur :
 - (a) achat ou vente de fourrages (éventuellement sur pied...), concentrés, (+ quantités) ...
 - (b) échange de parcelles,
4. **Distribution** de ces stocks durant l'hiver aux différents lots
5. **Autonomie** fourragère

Contexte global, influence et évolution ...

1. **Projet de production**
 - (a) types de produits : ...
 - (b) périodes de production : ...
 - (c) activités non agricoles : ...

- (d) engagements extra-professionnels : ...
- (e) choix de vie : ...
- 2. Sources d'**informations**
- 3. Sources de **conseils** et suivi technique
 - (a) Gestion : ...
 - (b) Calcul des rations : ...
 - (c) Comptabilité : ...
- 4. **Réseaux** : Syndicats, Fédération, CETA, Comices ...
- 5. Participation à des **réunions**, conférences, formations, ... (+ thèmes)
- 6. Identification des **contraintes** rencontrées
 - (a) dans l'exploitation
 - (b) dans le système, au niveau régional, ...
- 7. Identification des **éléments importants** pour maintenir la stabilité du système
- 8. Vision de l'**évolution** du système
 - (a) avenir au niveau global
 - (b) évolution de l'exploitation, ajustements, réactions, ...
 - (c) freins rencontrés pour augmenter la part de la prairie dans le système,
 - (d) ce qui manque pour être autonome

Autres éleveurs de la région

1. **Pratiques** des autres agriculteurs ... au niveau local (voisins, hameau, village) ... ;
2. ... au niveau **régional** (région agroécologique) ;
3. Avis sur les **causes de la diversité** rencontrée ;
4. **Liste de personnes** qu'on pourrait aller rencontrer pour réaliser l'enquête.

Fin de l'entretien et phase d'enquêtes ultérieures

1. Noms d'**autres agriculteurs**, d'instances publiques/privées à rencontrer
2. **Période(s)** pour revenir dans l'exploitation ? pour compléter les infos manquantes, récolter des données plus chiffrées, faire un tour de plaines,...

CODES THÉMATIQUES

10.infos – INFORMATIONS GÉNÉRALES

20.exploit – STRUCTURE D'EXPLOITATION

21.histor – Histoire de l'exploitation

22.natur – Milieu naturel

23.superf – Superficie : Surface Agricole Utile (SAU)

24.umo – Unité de main d'oeuvre

25.cheptel – Cheptel

26.activ.cmpl – Autres activités de l'exploitation

27.materiel – Matériel

30.elevage – GESTION DU TROUPEAU

31.specul – Spéculation(s)

32.inscr – Inscription des animaux HB, concours, contrôle laitier, ...

33.stabul – Stabulation des animaux

34.select – Critères de sélection du reproducteur et des réformes

35.anim.lot – Identification des lots d'animaux

36.anim.lot.evol – Évolution de ces lots

37.anim.lot.cndt – Principaux événement de conduites des lots

- **371.repro** – Reproduction
- **372.alim** – Alimentation
- **373.produc** – Performances attendues et productions
- **374.infos.enr** – Méthodes d'enregistrement des informations

38.anim.lot.hierar – Hiérarchisation des lots

39.anim.prd.clf – Identification des périodes clés pour la conduite des lots

40.herbage – GESTION DES SUPERFICIES

41.surf.tpe – Identifications des différents types de surfaces

42.surf.gst – Gestion des surfaces

- **421.saison** – Saison de pousse
- **422.itiner.tch** – Grandes étapes de l'itinéraire technique
- **423.sotcks.const** – Constitution des stocks
- **424.surf.utl** – Utilisation des types de surface lot par lot
- **425.surf.alm** – Distribution d'aliments en prairie

43.surf.prd.clf – Périodes importantes et enjeux pour la maîtrise de la végétation

44.calendr – Calendrier prévisionnel de pâturage, de fauche, ...

50.fourrage – GESTION DE L'ALIMENTATION

51.four.stk – Évaluation des des stocks de fourrages : silo, balles, ...

52.four.anl – Analyses des fourrages

53.four.rlt – Relations et échanges avec l'extérieur (achat, vente, etc.)

54.four.stk.dstr – Distribution de ces stocks durant l'hiver

55.four.autn – Autonomie fourragère

60.contexte – CONTEXTE GÉNÉRAL

61.prod.prj – Projet de production

- **611.prod.tpe** – Types de produits
- **612.prod.prd** – Périodes de production
- **613.autr.act** – Activités non agricoles
- **614.engage** – Engagements extra- professionnels
- **615.vie.chx** – Choix de vie

62.infos.src – Sources d'informations

63.conseil.src – Sources de conseils et suivi technique

- **631.conseil.src.gst** – Sources de conseils et suivi technique (gestion)
- **632.conseil.src.rtn** – Sources de conseils et suivi technique (ration)
- **633.conseil.src.cmpt** – Sources de conseils et suivi technique (comptabilité)

64.reso – Réseaux : Syndicats, Fédération, CETA, Comices, ...

65.reun – Participation à des réunions, conférences, formations, ...

66.contrain – Identification des contraintes rencontrées

- **661.xpl.contrain** – Contraintes au niveau de l'exploitation
- **662.sst.contrain** – Contraintes au niveau régional, du système agraire

67.sst.stabil.lmn – Identification des éléments importants pour maintenir la stabilité du système

68.sst.evol – Vision de l'évolution du système

70.region.elev – AUTRES FERMIERS

71.region.elev.prt – Pratiques des autres agriculteurs

72.prat.dvrst.cses – Avis sur les causes de la diversité rencontrée

73.region.elev.list – Liste de personnes qu'on pourrait aller rencontrer pour réaliser l'enquête

80.fin – FIN DE L'ENTRETIEN

81.enqu.list – Liste de personnes qu'on pourrait aller rencontrer pour réaliser l'enquête

82.prd.clm – Période calme pour revenir dans l'exploitation

ANNEXE C

DONNÉES QUANTITATIVES
& TABLES STATISTIQUES

TABLE C.1 – Médianes de quelques variables descriptives et de fonctionnement – Structure des exploitations et surfaces (NA = not available) (suite pages suivantes ...)

	Unité de main d'oeuvre UMO	Superficie agricole utile (SAU) ha	SAU en propriété ha	SAU en location ha	SAU par unité de main d'oeuvre ha	Superficie fourragère ha	Superficie fourragère (/SAU)	Surfaces enherbées ha	Surfaces enherbées (/SAU)
Données INS (recensement agricole 2006)									
Région agroécologique : Ardenne									
Lait (n=149)	2	51	14	28	35	46	1,00	40	0,95
Mixte (n=374)	2	66	17	45	44	63	0,97	59	0,98
Viandeux (n=1433)	1	41	13	21	37	39	1,00	38	1,00
Région agroécologique : Famenne									
Lait (n=147)	2	59	16	37	44	50	0,92	42	0,86
Mixte (n=232)	2	79	15	61	60	71	0,91	60	0,87
Viandeux (n=496)	1	45	10	27	44	38	0,96	35	0,97
Régions agroécologiques : Ardenne & Famenne									
Lait (n=297)	2	56	15	34	40	49	0,97	41	0,89
Mixte (n=606)	2	72	17	51	48	66	0,94	60	0,91
Viandeux (n=1929)	1	42	12	23	38	39	1,00	37	1,00
Données récoltées									
Région agroécologique : Ardenne									
Mixte (n=9)	2,0	110	50	73	50	110	1,00	98	0,91
Viandeux (n=16)	1,4	85	30	62	66	85	1,00	74	0,95
Région agroécologique : Famenne									
Mixte (n=7)	2,0	120	12	89	50	120	0,96	95	0,82
Viandeux (n=13)	2,0	110	40	75	60	110	0,98	85	0,74
Régions agroécologiques : Ardenne & Famenne									
Mixte (n=16)	2,0	110	37	73	50	110	1,00	95	0,87
Viandeux (n=29)	1,5	100	32	66	60	100	1,00	80	0,84
Détail des paramètres pour les 4 éleveurs laitiers									
#34 (Ardenne)	1	46	2,9	43	46	46	1,00	38	0,83
#42 (Famenne)	1	80	0,0	80	80	71	0,89	55	0,77
#46 (Ardenne)	2	100	45,0	58	52	100	1,00	80	0,78
#50 (Ardenne)	2	55	12,0	44	28	55	1,00	42	0,70

source : données INS, 2006 et données collectées, 2009-2010

TABLE C.1 – Médianes de quelques variables descriptives et de fonctionnement – Surfaces (NA = not available) (... suite ...)

	Cultures fourragères ha	Cultures fourragères (part de la SAU) ha	- Cultures non fourragères -	Maïs ha	Maïs (part de la SAU) ha	- Froment -	Épeautre ha	Orge d'hiver ha	Betterave ha	ha
Données INS (recensement agricole 2006)										
Région agroécologique : Ardenne										
Lait (n=149)	8,6	2,6	0,049	0,00	2,5	0,046	0,00	0,0	0	0
Mixte (n=374)	13,0	1,4	0,023	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0	0
Viandeux (n=1433)	3,8	0,0	0,000	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0	0
Région agroécologique : Famenne										
Lait (n=147)	18,0	7,7	0,140	0,00	7,4	0,140	0,00	0,0	0	0
Mixte (n=232)	21,0	9,0	0,130	0,25	8,6	0,120	0,25	1,3	0	0
Viandeux (n=496)	5,6	1,0	0,025	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0	0
Régions agroécologiques : Ardenne & Famenne										
Lait (n=297)	14,0	5,7	0,110	0,00	5,2	0,110	0,00	0,0	0	0
Mixte (n=606)	16,0	5,8	0,091	0,00	5,2	0,085	0,00	0,0	0	0
Viandeux (n=1929)	4,0	0,0	0,000	0,00	0,0	0,000	0,00	0,0	0	0
Données récoltées										
Région agroécologique : Ardenne										
Mixte (n=9)	8,0	8,0	0,093	0	4,0	0,042	0	0	0	0
Viandeux (n=16)	4,5	4,5	0,052	0	0,0	0,000	0	0	0	0
Région agroécologique : Famenne										
Mixte (n=7)	30,0	21,0	0,180	5	11,0	0,087	5	5	0	0
Viandeux (n=13)	25,0	25,0	0,260	2	9,0	0,100	1	5	0	0
Régions agroécologiques : Ardenne & Famenne										
Mixte (n=16)	14,0	14,0	0,130	0	8,8	0,085	0	0	0	0
Viandeux (n=29)	18,0	18,0	0,160	0	3,0	0,026	0	0	0	0
Détail des paramètres pour les 4 éleveurs laitiers										
#34 (Ardenne)	8	8	0,17	0	8	0,17	0	0	0	0
#42 (Famenne)	25	16	0,23	9	16	0,23	9	0	0	0
#46 (Ardenne)	23	23	0,22	0	23	0,22	0	0	0	0
#50 (Ardenne)	16	16	0,30	0	13	0,24	0	0	0	0

source : données INS, 2006 et données collectées, 2009-2010

TABLE C.1 – Médianes de quelques variables descriptives et de fonctionnement – Cheptel (NA = not available) (... suite et fin)

	- Vaches laitières	Quotas laitier	- Vaches allaitantes	- Quotas vache allaitante	Age des mâles à la vente	Cheptel	- Taux de liaison au sol	Chargement
	l	l	l	l	mois	UGB	UGB/ha	UGB/ha
Données INS (recensement agricole 2006)								
Région agroécologique : Ardenne								
Lait (n=149)	48	NA	0	NA	NA	90	NA	2,1
Mixte (n=374)	33	NA	43	NA	NA	140	NA	2,2
Viandeux (n=1433)	0	NA	40	NA	NA	72	NA	2,1
Région agroécologique : Famenne								
Lait (n=147)	49	NA	0	NA	NA	99	NA	2,0
Mixte (n=232)	40	NA	41	NA	NA	150	NA	2,2
Viandeux (n=496)	0	NA	31	NA	NA	58	NA	1,8
Régions agroécologiques : Ardenne & Famenne								
Lait (n=297)	48	NA	0	NA	NA	95	NA	2,0
Mixte (n=606)	35	NA	43	NA	NA	150	NA	2,2
Viandeux (n=1929)	0	NA	39	NA	NA	69	NA	2,0
Données récoltées								
Région agroécologique : Ardenne								
Mixte (n=9)	60	400000	50	120	10	250	0,85	2,3
Viandeux (n=16)	0	0	100	97	14	170	0,62	2,0
Région agroécologique : Famenne								
Mixte (n=7)	50	320000	60	61	10	170	0,73	1,9
Viandeux (n=13)	0	0	130	110	10	220	0,78	2,1
Régions agroécologiques : Ardenne & Famenne								
Mixte (n=16)	55	380000	55	78	10	200	0,80	2,1
Viandeux (n=29)	0	0	120	110	12	190	0,72	2,1
Détail des paramètres pour les 4 éleveurs laitiers								
#34 (Ardenne)	68	450000	0	0	0	120	0,84	2,7
#42 (Famenne)	80	500000	0	0	0	150	0,60	2,1
#46 (Ardenne)	120	940000	0	0	0	210	0,75	2,0
#50 (Ardenne)	80	550000	0	0	0	140	0,90	2,5

source : données INS, 2006 et données collectées, 2009-2010

TABLE C.2 – Moyennes et déviations standards de quelques variables de structure et de fonctionnement – Structure des exploitations et surfaces (Moyenne±Déviation standard) (Suite pages suivantes ...)

	Unité de main d'œuvre		Superficie agricole utile (SAU)		SAU en propriété		SAU en location		SAU par unité de main d'œuvre		Superficie fourragère		Superficie fourragère (part de la SAU)		Surfaces herbées		Surfaces herbées (part de la SAU)	
	UMO	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Ardenne (n=28)	1,7±0,70	99±51	35±24	68±47	62±28	99±49	1,00±0,0082	86±36	0,89±0,11									
Famenne (n=21)	2,0±0,75	120±44	39±32	85±40	65±26	120±40	0,96±0,0450	92±36	0,79±0,11									
Mixte (n=16)	2,2±0,85	110±47	39±30	81±37	54±19	110±45	0,98±0,0430	97±41	0,87±0,08									
Viandeux (n=29)	1,7±0,60	110±50	39±27	76±50	69±29	110±47	0,99±0,0260	89±32	0,85±0,13									
Total (n=49)	1,8±0,72	110±48	37±28	76±44	63±27	110±46	0,98±0,0340	89±36	0,85±0,12									

source : données collectées, 2009-2010

TABLE C.2 – Moyennes et déviations standards de quelques variables de structure et de fonctionnement – Surfaces (Moyenne±Déviation standard) (... suite...)

	Culture	Cultures fourragères	Cultures fourragères (part de la SAU)	Cultures non fourragères	Mais	Mais (part de la SAU)	Froment	Épeautre	Orge d'hiver	Betterave
	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha	ha
Ardenne (n=28)	13±21	13±19,0	0,11±0,11	0,46±2,5	5,0±7,3	0,050±0,073	0,46±2,5	1,6±3,7	0,056±0,29	0,30±0,92
Famenne (n=21)	28±20	24±15,0	0,21±0,11	4,90±6,4	14,0±9,6	0,130±0,078	4,90±6,4	5,0±5,9	1,400±3,00	0,00±0,00
Mixte (n=16)	16±13	14±9,2	0,13±0,08	2,70±5,5	8,8±7,2	0,081±0,068	2,70±5,5	2,4±3,6	0,410±1,30	0,19±0,75
Vlandeux (n=29)	22±26	20±22,0	0,15±0,13	2,20±5,0	8,1±11,0	0,095±0,081	2,20±5,0	3,9±5,8	0,840±2,50	0,19±0,74
Total (n=49)	20±22	17±18,0	0,15±0,12	2,40±5,0	8,9±9,4	0,082±0,084	2,40±5,0	3,1±5,0	0,620±2,00	0,17±0,70

source : données collectées, 2009-2010

TABLE C.2 – Moyennes et déviations standards de quelques variables de structure et de fonctionnement – Cheptel (Moyenne±Déviation standard) (... suite et fin)

	Vaches laitières	Quotas laitier	Vaches allaitantes	Quotas vache allaitante	Age des mâles à la vente	Cheptel	Taux de liaison au sol	Chargement
	-	t	-	-	mois	UGB	-	UGB/ha
Ardenne (n=28)	33,00±49,00	230000±300000	84±51	96±76	12±6,0	200±90	0,73±0,14	2,1±0,65
Famenne (n=21)	21,00±29,00	130000±190000	120±71	110±67	11±5,6	230±110	0,74±0,18	2,0±0,41
Mixte (n=16)	63,00±41,00	400000±200000	75±55	94±62	10±4,4	240±120	0,78±0,17	2,1±0,65
Viandeux (n=29)	0,17±0,93	0±0	120±51	130±65	14±4,8	210±90	0,71±0,16	2,0±0,54
Total (n=49)	28,00±42,00	180000±260000	97±62	100±72	11±5,8	220±98	0,74±0,16	2,1±0,56

source : données collectées, 2009-2010

ANNEXE D

FORMULES DES INDICATEURS DE LA THÉORIE DES GRAPHERS

Cette annexe présente une série d'indicateurs issus de la théorie des graphes qui peuvent être calculés à partir d'une carte cognitive (Özesmi & Özesmi, 2004).

Matrice d'adjacence Soit A une matrice d'adjacence de dimension $n \times n$, construite à partir d'une carte cognitive (voir équation 5.1).

Indicateurs liés aux éléments de la carte (concepts et relations)

Poids des relations Les valeurs de la matrice d'adjacence représentent les poids des relations entre les concepts de la carte cognitive.

Soit e_{ij} le poids de la relation du concept i au concept j ,

$$i \xrightarrow{e_{ij}} j \quad (D.1)$$

'Outdegree' des concepts L'*outdegree*' d'un concept est défini comme la somme des valeurs absolues du poids des relations dont le concept est la source. Soit l'*outdegree*' du concept i

$$od_i = \sum_{k=1}^n \bar{e}_{ik} \quad (D.2)$$

'Indegree' des concepts L'*indegree*' d'un concept est défini comme la somme des valeurs absolues du poids des relations dont le concept est la destination. Soit l'*indegree*' du concept i

$$id_i = \sum_{k=1}^n \bar{e}_{ki} \quad (D.3)$$

Centralité des concepts La centralité d'un concept est défini comme la somme des valeurs absolues du poids des relations dont le concept est la source ou la destination. Soit la centralité du concept i

$$centrality_i = od_i + id_i \quad (D.4)$$

ce qui équivaut à

$$\sum_{k=1}^n \bar{e}_{ki} + \bar{e}_{ik} \quad (D.5)$$

'Transmitter', 'Receiver' & 'Ordinary variables' Un concept i est de type '*transmitter*' s'il possède les caractéristiques suivantes (Bougon et al., 1977 in Özesmi & Özesmi, 2004) :

$$od_i > 0 \quad \& \quad id_i = 0 \quad (D.6)$$

Soit T le nombre de concepts de type '*transmitter*' d'une carte.

Un concept i est de type '*receiver*' s'il possède les caractéristiques suivantes (Bougon et al., 1977 in Özesmi & Özesmi, 2004) :

$$od_i = 0 \quad \& \quad id_i > 0 \quad (D.7)$$

Soit R le nombre de concepts de type '*receiver*' d'une carte.

Un concept i est de type '*ordinary*' s'il possède les caractéristiques suivantes (Bougon et al., 1977 in Özesmi & Özesmi, 2004) :

$$od_i > 0 \quad \& \quad id_i > 0 \quad (D.8)$$

Soit O le nombre de concepts de type 'ordinary' d'une carte.

Le caractère 'transmitter' d'un concept de type 'ordinary' est évalué de la manière suivante :

$$TO_i = \frac{od_i}{id_i} \quad (D.9)$$

Le caractère 'receiver' d'un concept de type 'ordinary' est l'inverse de son caractère 'transmitter' et évalué de la manière suivante :

$$RO_i = (TO_i)^{-1} = \frac{id_i}{od_i} \quad (D.10)$$

Indicateurs structurels liés à la carte dans son ensemble

Taille de la carte Nous définissons n comme étant le nombre de variables de la matrice (soit le nombre de concepts de la carte cognitive). Soit N , la taille de la carte :

$$N = n \quad (D.11)$$

Nombre de connexions de la carte Le nombre de connexions (C) de la carte cognitive est évalué par le nombre d'éléments de la matrice d'adjacence différent non nuls.

Densité de la carte ('clustering coefficient') La densité (D) de la carte cognitive est un indicateur de la connectivité entre les concepts. La densité est évaluée à partir du nombre de connexions sur le nombre maximal de connexions possibles (Hage and Harary, 1983 in Özesmi & Özesmi, 2004), soit

$$D = \frac{C}{N \times (N - 1)} \quad (D.12)$$

Si les concepts de la carte peuvent être reliés à eux-mêmes, la formule devient

$$D = \frac{C}{N^2} \quad (D.13)$$

Complexité Le nombre de variables de type ‘receiver’ et le nombre de variables de type ‘transmitter’ sont à la base d’une mesure de la *complexité* du système représenté. Les auteurs considèrent que le nombre de variables de type ‘receiver’, mesurant les implications, les conséquences, les ‘outcomes’ du système modélisé, est positivement lié à son degré de complexité. À l’inverse, un grand nombre de variables de type ‘transmitter’ est considéré comme caractéristique de systèmes fortement fondés sur des relations ‘top-down’ marquant une certaine “platitude” de la carte cognitive avec des relations causales peu élaborées (Edenet *al.*, 1992 in Özesmi & Özesmi, 2004). Mathématiquement, la complexité s’exprime donc simplement par un rapport entre ces deux indices. Soit

$$\text{complexity} = \frac{R}{T} \quad (\text{D.14})$$

‘Hierarchy index’ Le ‘hierarchy index’ se calcule par la formule suivante (MacDonald, 1983 in Özesmi & Özesmi, 2004) :

$$h = \frac{12}{(N-1) \times N \times (N+1)} \times \sum_{i=1}^N \left[\frac{od_i - \left(\frac{\sum_{i=1}^N od_i}{N} \right)}{N} \right]^2 \quad (\text{D.15})$$

Cet indice permet de distinguer des systèmes totalement hiérarchiques ($h = 1$) caractérisés par une certaine domination de concepts sur d’autres de systèmes totalement démocratiques ($h = 0$) marqués par un degré d’intégration et d’interdépendance plus élevé (Sandell, 1996 in Özesmi & Özesmi, 2004). Pour cet auteur, cet indice semble intéressant pour l’évaluation des capacités d’adaptation des systèmes face aux changements de l’environnement, avec un avantage pour les systèmes démocratiques.

ANNEXE E

CLASSIFICATION DES CARTES SUR BASE DE LEURS PROPRIÉTÉS STRUCTURELLES

Dans le cadre du développement de la méthode de classification des individus sur base de leurs propriétés structurelles, l'évaluation de la similarité entre les cartes cognitives doit se faire sur des données de base ne sont pas binaires (présence/absence), mais quantitatives, discrètes ou continues pour la plupart (voir annexe D). La similarité entre les agents a été évaluée à l'aide de la distance Euclidienne basée sur les neuf indicateurs de la théorie des graphes retenus (Ortolani *et al.*, 2010).

Parmi ces neuf indicateurs, six sont des indicateurs de la théorie des graphes (niveau carte, structure). Il s'agit de la taille de la carte (N, voir équation D.11), le nombre de connexions (C), le nombre de concepts '*transmitter*' (T, voir équation D.6), le nombre de concepts '*receiver*' (R, voir équation D.7), la densité de la carte (D, voir équations D.12 et D.12), le '*hierarchy index*' (h, voir équation D.15). Les formules calculer la valeur de ceux-ci ont été présentées, parmi d'autres, à l'annexe D.

Trois autres indicateurs sont des statistiques d'indicateurs liés aux éléments constitutifs de la carte : la moyenne des valeurs de l'*'indegree'* des concepts de la carte (nommé simplement '*Degree*')¹, la variance des valeurs de l'*'indegree'* des concepts de la carte (var_{in}) et enfin, la variance des valeurs de l'*'outdegree'* des concepts de la carte var_{out} .

La distance Euclidienne entre deux objets (*agents*, dans le cas présent) positionnée dans un espace à p dimensions (neuf dans le cas présent, pour les neuf indicateurs retenus), l'espace Euclidien est calculée à l'aide de la formule de Pythagore (Legendre & Legendre, 1998).

1. qui égale d'ailleurs la moyenne des valeurs de l'*'outdegree'* des concepts

Soient x_1 et x_2 deux points de l'espace à p dimensions situés respectivement aux coordonnées $(y_{11}, y_{12}, \dots, y_{1p})$ et $(y_{21}, y_{22}, \dots, y_{2p})$.

La distance Euclidienne D_1 entre ces deux points se calcule de la manière suivante :

$$D_1(x_1, x_2) = \sqrt{\sum_{j=1}^p (y_{1j} - y_{2j})^2} \quad (\text{E.1})$$

Pour la comparaison des cartes cognitives selon les indicateurs structurels, comme pour la comparaison des relations, le calcul d'indicateurs quantitatifs (continus ou discrets) issus de la théorie des graphes s'applique au niveau individuel des ICMs. Les distributions de ces données quantitatives ont été comparées par des simples analyses de variances (ANOVA)².

2. Pour des comparaisons entre trois distributions ou plus, l'ANOVA reste d'application

ANNEXE F

APPLICATION DYNAMIQUE & PROSPECTIVE DE LA MÉTHODE

RÉSUMÉ

LES SYSTÈMES SOCIO-ÉCOLOGIQUES sont caractérisés par diverses incertitudes, ce qui rend leur gestion complexe. Dans ces systèmes, si les choix, les processus de décision et les pratiques des personnes qui en ont la gestion sont basés sur des éléments objectifs, ils sont aussi chargés de valeurs et sont en partie subjectifs, influencés par leurs propres visions du monde et connaissances. Les connaissances des agents sont centrales dans le développement de leurs capacités d'adaptations, mais elles sont rarement prises en considération par les approches traditionnelles de modélisation de la gestion des systèmes socio-écologiques.

Dans ce chapitre, nous présentons une approche basée sur le '*Fuzzy Cognitive Mapping*' pour étudier les propriétés dynamiques des systèmes de pratiques dans les systèmes socio-écologiques. Nous avons appliqué notre approche à l'étude d'un cas : la gestion des fourrages sous différents scénarios climatiques.

Les résultats montrent qu'une sécheresse estivale a des conséquences qui varient en fonction du système de pratiques des éleveurs. Nous illustrons ainsi que les approches basées sur le '*Fuzzy Cognitive Mapping*' sont particulièrement pertinentes pour étudier les systèmes de pratiques dans les systèmes socio-écologiques.

SOMMAIRE

F.1	Introduction	309
F.2	Materials and Methods	311
F.3	Results	316
F.4	Discussion and conclusion	317

The Relevance of Fuzzy Cognitive Mapping Approaches for Assessing Adaptive Capacity and Resilience in Social-Ecological Systems

Frédéric M. Vanwindekens, Didier Stilmant & Philippe V. Baret

In Papadopoulos, H., Andreou, A. S., Iliadis, L. and Maglogiannis, I. (Eds.). Artificial Intelligence Applications and Innovations 2013, IFIP Advances in Information and Communication Technology 412 : 587–596. Springer, Berlin Heidelberg.

ABSTRACT

Social–Ecological Systems (SES) are complex due to uncertainty related to their nature and their functions. In these systems, decision-making processes and practices of managers are often value-laden and subjective, dominated by their world-views and their own knowledge. People’s knowledge are central in building their adaptive capacity but are seldom taken into account by traditional decision-making approaches in modelling SES management. In this paper, we introduce a Fuzzy Cognitive Mapping approach to study the dynamic behaviour of managers’ systems of practices. As a case study, we aim to assess farmers’ forage management under different climatic scenarios. Results show that summer drought have varying consequences according to farmers’ systems of practices. Fuzzy Cognitive Mapping approaches are particularly relevant in studying systems of practices in SES. Their utilisation is promising for the evaluation of adaptive capacity and resilience in SES at local scale (exploitation, community) and regional scale (ecological areas, country).

KEYWORDS: Agriculture, Social–Ecological Systems, Systems of Practices, Fuzzy Cognitive Mapping, Resilience Assessment

F.1 Introduction

The management of Social–Ecological Systems (SES, Folke *et al.*, 2010) is complex due to the intricacy of their components, to the uncertainty related to their nature and to the various societal, institutional, physical, ecological, economical processes involved in their functions (Ascough *et al.*, 2008). Managers’ strategies are largely influenced by their perceptions of the ecological,

economical and social environments of SES (Ascough *et al.*, 2008). These influences have been particularly pointed out and studied in the agricultural context (Darré *et al.*, 2004; Edwards-Jones, 2006; Ingram *et al.*, 2010). In order to help farmers in managing their farm, Decision Support System (DSS) have been developed by 'management scientists' (McCown, 2002a). But unexpectedly, farmers pay little attention to these DSS (Ascough *et al.*, 2008; Edwards-Jones, 2006; McCown, 2002a; Özesmi & Özesmi, 2004).

Recent scientific approaches have been developed to cope with incorporation of human, social and institutional aspects in SES models by explicitly accommodating relations between the natural and human environment (Ascough *et al.*, 2008). Fuzzy cognitive maps (FCM) are particularly relevant tools in modelling SES based on people explicit knowledge (Özesmi & Özesmi, 2004) as they can be considered as a model of a belief system (Kok, 2009) constituted by concepts, the key drivers of the system, and edges, causal relationships between concepts. They have been developed by Kosko (1986) in introducing the notion of 'fuzziness' and 'fuzzy weight' to relationships of Robert Axelrod's Cognitive Mapping (CM) (Axelrod *et al.*, 1976).

In the agricultural context (see Vanwindekens *et al.*, 2013), CM and FCM have been successfully applied for (i) analysing people knowledge, beliefs (Popper *et al.*, 1996) and decision-making on farm (Isaac *et al.*, 2009), (ii) studying adoption of agri-environment measures (Ortolani *et al.*, 2010), (iii) modelling farmers perceptions of how their ecosystem works (Fairweather, 2010) and of the sustainability of farms (Fairweather & Hunt, 2011), and (iv) predicting yield production (Papageorgiou, 2011; Papageorgiou *et al.*, 2013). In order to study farmers' System Of Practice (SOP) based on their own conceptions, we developed an approach for building cognitive maps by coding people's open-ended interviews. This approach was named CMASOP for 'Cognitive Mapping Approach for Analysing Actors' Systems of Practice' in SES. In a previous paper, we presented the core principles of CMASOP (Vanwindekens *et al.*, 2013). In this first publication, we applied CMASOP to the general description of farmers' SOP for managing grasslands in two Belgian agroecological areas (Vanwindekens *et al.*, 2013). In a second step, we developed complementary applications of CMASOP : a comparative one and a typological one. For comparing SOP between groups of managers defined *a priori*, we

coupled CMASOP and descriptive statistical methods. For classifying SOP in *a posteriori* typological groups, we coupled CMASOP, clustering methods and statistical analysis. Results of the comparative and typological applications of CMASOP are being submitted (Vanwindekens *et al.*, 2014).

In the present paper, we coupled CMASOP and auto-associative neural networks methods (Özesmi & Özesmi, 2004) for carrying out inferences about farmers' adaptations to climatic uncertainties. The objective of this development is to model the dynamic behaviour of managers' SOP for assessing their adaptive capacity, and indirectly, the resilience of their SES. The aim of this paper is to present this new development of CMASOP and to demonstrate the relevance of using FCM approaches for assessing adaptive capacity of managers and resilience of their exploitation in social–ecological systems. The management of the second cut in grassland based livestock farming systems of southern Belgium is used as a case-study.

Resilience is defined by Folke *et al.* as the “*capacity of a system to absorb disturbance and reorganize [...]*” (Folke *et al.*, 2010). Adaptive capacity is defined as the “*capacity of actors in a system to influence resilience*” (Folke *et al.*, 2010). Different studies have used FCM for scenario analysis in SES (Özesmi & Özesmi, 2004; Kok, 2009; Soler *et al.*, 2011; Wise *et al.*, 2012). They rely on the possibility to compare the steady state calculation under various conditions : (i) current situation, (ii) evolution of some environmental variables (prices, rainfall) or (iii) implementation of different policy options (laws, tax). These concepts are closed to the concept of ‘vulnerability’ that has been analysed using FCM by Murungweni *et al.* (2011) in the study of livelihood .

F.2 Materials and Methods

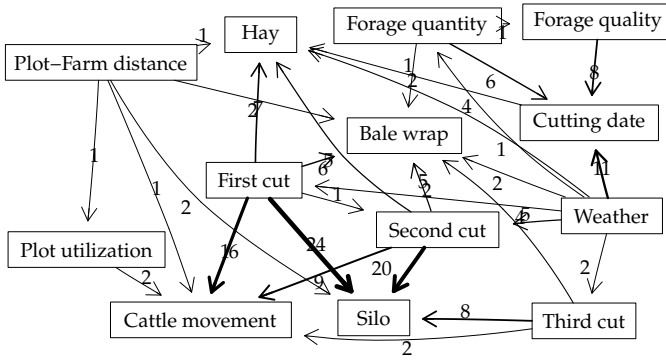
We studied farmers' systems of practice (SOP) in Ardenne and Famenne, two grassland based agroecological areas in southern Belgium. We collected qualitative and quantitative data during forty-nine open-ended interviews on management of farms systems (structure, technical orientation, world views) and subsystems (forage, herd, grazing). We developed a cognitive mapping

based approach for analysing systems of practice (CMASOP¹, Vanwindekens *et al.*, 2013, 2014). We applied it for studying grass forage management in our surveyed area.

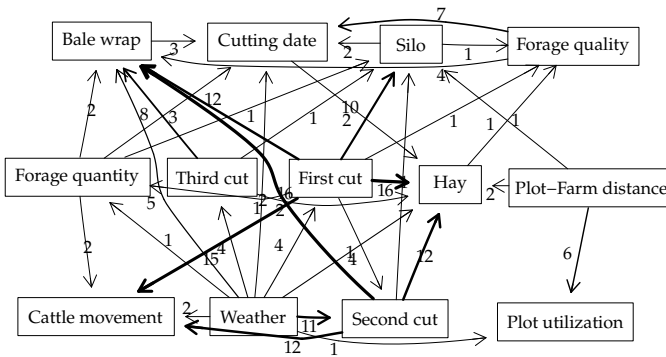
The core principles of CMASOP consist in coding open-ended interviews of managers in order to create individual cognitive maps (ICM). These ICM can then be used to build a social cognitive map (SCM). As open-ended interviews focus on managers' practices in social-ecological systems (SES), the ICM and SCM are considered as inductive models of SOP based on people conceptions (Vanwindekens *et al.*, 2013). The SCM is *inter alia* constituted by thirteen highly related concepts classed in seven core hubs (First, Second and Third cuts, Silo, Bale wrap, Hay and Cattle movement) and six peripheral hubs (Plot utilization, Plot-Farm distance, Forage quality, Forage quantity, Cutting date and Weather). A quote-retrieving module has been implemented in order to permanently relate each relationship to managers' quotations.

We developed applications for using CMASOP in comparative and typological ways (Vanwindekens *et al.*, 2014). Differences in SOP between groups of managers can be highlighted in coupling CMASOP and descriptive statistical methods. Typology of systems of practice can be processed by coupling CMASOP, clustering methods and statistical analysis. These developments have been applied to our case study, grass forage management in farming systems. The clustering of SOP in these systems highlighted two contrasted groups of farmers based on the management of their second grass cut (figure F.1). The first group of farmers (A, n=24, figure F.1(a)) are more prone for silaging (20) than they are for bale wrapping (5) or haying (5). Conversely, the second group of farmers (B, n=25, figure F.1(b)) are more prone for bale wrapping (16) and haying (12) than they are for silaging (1). As a result of previous works, the drought has been quoted by farmers as a typical risk in grassland management in Famenne. The potential drought mainly occurs during the summer and has damageable consequences on grass growth and, in parallel, on milk production and animal performances in general. In order to cope with drought, farmers' adaptations are contrasted : grazed area increase or supplementation in grazing plots.

1. CMASOP was developed in R (R Development Core Team, 2009). Figures F.1 and F.2 were done using Rgraphviz (Gentry *et al.*, 2010). Figures F.3 and F.4 were made using ggplot2 (Wickham, 2009)

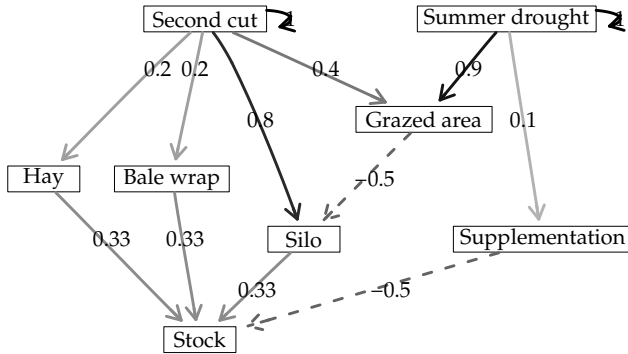


(a) Core of the social map of SOP A cluster, based on silaging

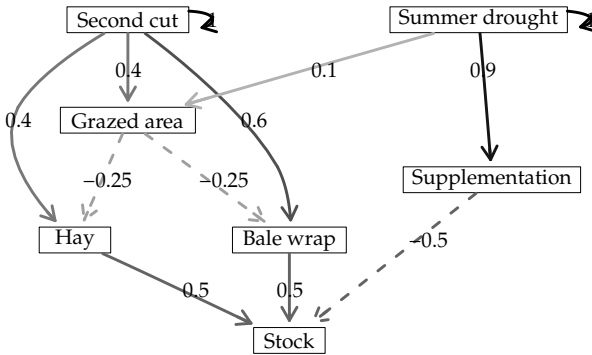


(b) Core of the social map of SOP B cluster, based on bale wrapping and haying

FIGURE F.1 – The 49 farmers’ systems of practice (SOP) have been classified in two groups using the clustering application of CMA-SOP (Vanwindekens *et al.*, 2014). Farmers of the first cluster (A) are specialized and have SOP based on silaging. Farmers of the second cluster (B) are more diversified and have SOP based on bale wrapping and haying. The social maps of two clusters of SOP have been used to build and calibrate two synthetic FCM used in the present study (figure F.2)



(a) FCM of the SOP A cluster based on silage



(b) FCM of the SOP B cluster based on bale wrap and hay

FIGURE F.2 – FCM of the two different systems of practice assessed. Weights of relationships are illustrated by the saturation of the gray : from white (i.e. invisible,0) to black (1). Signs of relationships are illustrated by the type of line : continuous (positive) or dashed (negative). Values of relationships weights are shown besides relationships.

The two SCM (figures F.1) have been taken as patterns to build two synthetic FCM (figures F.2) for studying systems resilience and farmers' adaptive capacity linked with summer drought. These synthetic FCM show the grassland plots allocated for harvesting (Silo, Bale wrap, Hay) or for grazing (Grazed area). The weights of relationships between Second cut and these four concepts are proportional to their weights in the SCM of the two clusters (0.8, 0.2, 0.2 and 0.4 respectively in A and 0, 0.6, 0.4 and 0.4 in B). We considered that the products harvested on cutting plots constitute the Stock of forage (0.33 for Hay, Bale wrap and Silo in A; 0.5 for Hay and Bale wrap in B). In case of Summer drought, two adaptations are simulated: the increase of Grazed area (0.9 for A, 0.1 for B) or the Supplementation of forage in grazed plots (0.1 in A, 0.9 in B). The increase of Grazed area involve a decrease of the harvested area (-0.5 for Silo in A and -0.25 for Bale wrap and Hay in B). Two self-reinforcing relationships have been added for the driver concepts Second cut and Summer drought.

Farmers are more prone to distribute forage conditioned in Bale wrap or in Hay, available in individual elements (bales), than to open a whole Silo done with the harvest of the first cut. Therefore, farmers of the cluster B have the possibility to supplement herd in grazing plots because their stock are mostly constituted by Bale wrap and Hay. For the simulations, we supposed that these farmers choose to cope with Summer drought in supplementing. Conversely, farmers of cluster A have only few Bale wrap and Hay in their Stock. For simulations, we supposed then that these farmers choose the other adaptation, in increasing of Grazed area. For the same reason, we supposed that the reduction of Grazed area for these farmers (A) only affect the most important conditioning, Silo.

The simulations have been processed using the auto-associative neural networks method described by Özesmi & Özesmi (2004) in order to calculate the activation degrees of each concept at all time steps till convergence. Activation degrees are semi-quantitative values of concepts that can only be interpreted relative to each other (Kok, 2009). The two scenarios have been implemented in forcing the activation degree of Summer Drought to 0 ('No Summer Drought') or 1 ('Summer Drought').

F.3 Results

Figure F.3 shows the comparisons of the scenarios ‘No Summer Drought’ and ‘Summer Drought’ for the two systems of practice (SOP) assessed. The evolution of the two driver concepts (‘Second cut’ and ‘Summer drought’) is logically not shown nor analysed.

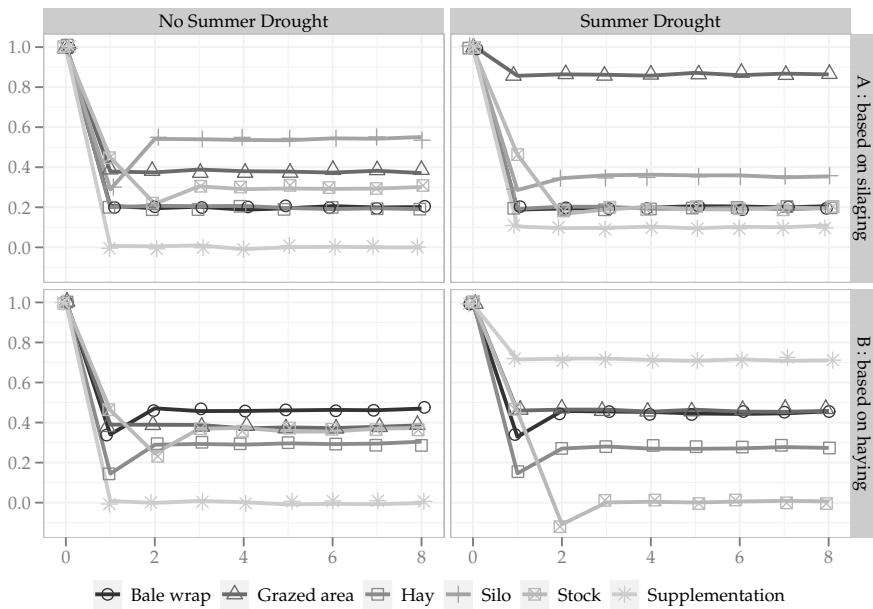


FIGURE F.3 – Evolution of activations degrees of concepts in the four Fuzzy Cognitive Maps. Comparisons of the scenarios ‘No Summer Drought’ and ‘Summer Drought’ for the two systems of practice (SOP) assessed : A (SOP based on silaging) and B (SOP based on bale wrapping and haying). X-axis : iteration step, Y-axis : activation degree

For SOP A cluster based on silaging, (i) the activation degree of Grazed area strongly increase from 0.380 (No Summer Drought) to 0.862 (Summer Drought), (ii) the activation degree of Supplementation slightly increase from

0.000 to 0.100, (iii) the activation degrees of Silo and of Stock decrease from 0.544 and 0.300 respectively to 0.353 and 0.194 respectively (table F.1).

For SOP B cluster based on bale wrapping and haying, (i) the activation degree of Supplementation strongly increase from 0.000 to 0.716 while (ii) the activation degree of Stock strongly decrease from 0.246 to -0.118 , (iii) the activation degree of Grazed area increase from 0.380 to 0.462 and (iv) the activation degrees of Bale wrap and Hay slightly decrease from 0.466 and 0.296 respectively to 0.450 and 0.277 respectively (table F.1).

The increases of Grazed area for SOP A cluster and of Supplementation for SOP B cluster are adaptations of each groups of farmers in case of Summer drought (figure F.4). In the FCM of SOP A cluster, a direct consequence of increasing of Grazed area is the decrease of Silo and a subsequent decrease of Stock that is limited. In the case of SOP B cluster, as a direct consequence of the increase of Supplementation, FCM shows a decrease of the activation degree of Stock more important than for SOP A cluster (figure F.4).

F.4 Discussion and conclusion

This article presents an original method for assessing managers' adaptive capacity under uncertain environmental conditions. This method gain in coherence and relevance through its integration in CMASOP, a complete Cognitive Mapping approach (Vanwindekens *et al.*, 2013, 2014). The method is grounded on various kind of qualitative data collected during open-ended interviews. Its descriptive application allows to inductively model SOP of individual and groups of managers based on their own conceptions of their system. Its comparative and typological applications allow to objectively compare and cluster SOP. Finally, CMASOP allows to construct FCM of managers' SOP. In computing the steady states of FCM of various SOP under various environmental conditions, it is relevant in assessing adaptive capacity of managers in complex SES.

This paper presents a first application of FCM for studying SOP in SES. The SOP we model are basic in terms of concepts and relations. As a consequence,

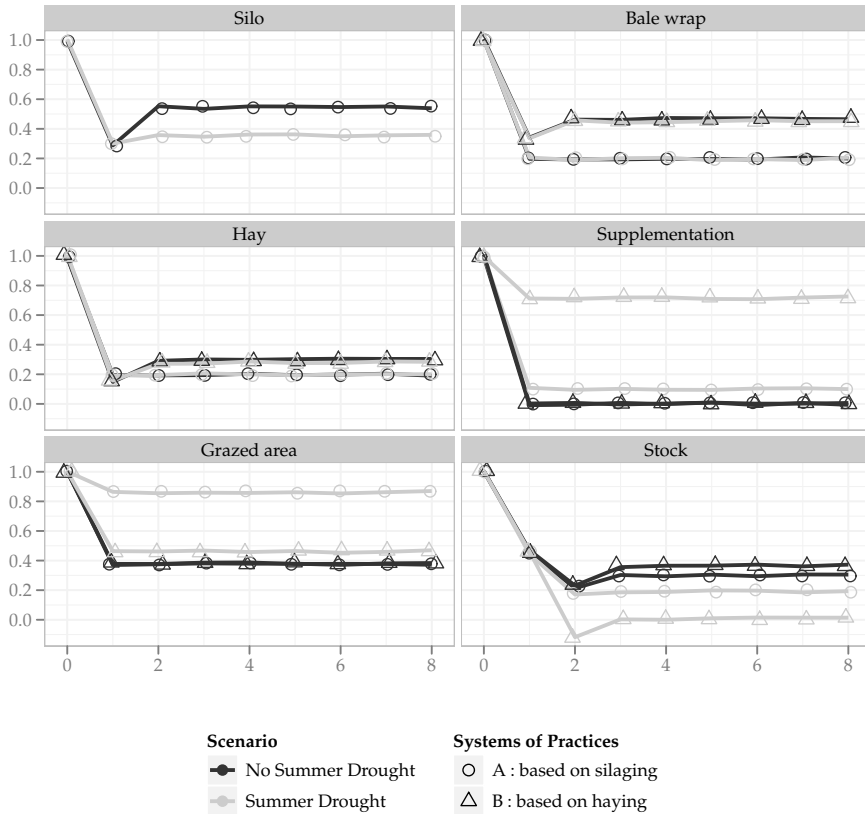


FIGURE F.4 – Evolution of activations degrees of major concepts in the four Fuzzy Cognitive Maps. Comparisons of the adaptations of the two systems of practice (SOP) to cope with ‘Summer Drought’. X-axis : iteration step, Y-axis : activation degree

the dynamic behaviours of the FCMs are elementary. Nevertheless, results confirm influences of farming practices on the whole functioning of the production system. They confirm also that various systems of practice have various effects on the system.

Beyond these results that could appear as relatively evident, results shows the possibility to model a wide variety of SOP in a simple way in order to assess them under various scenarios. The easy way of building model and simulating scenarios is a major advantage of the method presented. We illustrate it in processing further simulations in order to test two other SOP : C, based on a mixed sources of harvested forage (0.33 silo, 0.33 bale wrap and 0.33 hay) and D, whose stock is only constituted by purchased feed. Results are shown in table F.1. Technically, our tool is easy-to-use for researchers or even for farmers : the relations and their weights are entered in a spreadsheet that is subsequently processed by an R program (R Development Core Team, 2009).

Comparisons of two SOP in case of Summer drought showed differences in terms of Stock between farmers' FCM. These differences could also have significant consequences on concepts not modelled in the present study : feeding of herd during the winter (stocks are smaller), cows selling (stocks are insufficient) or feed purchase (for restoring stocks), treasury (due to purchasing) and, finally, resilience of the whole farms. Although these concepts are beyond the scope of our model, this reasoning illustrates how resilience of farms and adaptive capacity of farmers could be assessed using FCM approaches.

Most of previous studies of managers' practices in SES were conducted in a qualitative way by social scientists or modelled in reductionist DSS. The two-fold nature of FCM (qualitative and quantitative) brings another advantage to our method. It allows building SOP model based on people's knowledge and processing simulations.

Further works could include developments of more elaborated FCM including various indicators of economic fields (e.g. production, profit), ecological sciences (e.g. environmental footprint) or social sciences and psychology (e.g. personal fulfilment, happiness). It has not escaped our notice that the broadening of the map could represent an opportunity of measuring resilience of social-ecological systems at local or regional scales.

As asserted by van Vliet *et al.* (2010), FCM could be a relevant communication and learning tools between managers and scientists. It would be very inter-

TABLE F.1 – Values of activations degrees of major concepts at steady states. Eight simulations are compared. Four systems of practice (SOP) : A, based on silageing; B, based on haying; C, based on mixed sources and D, feed purchasing. Two climatic scenarios : Normal (No Summer Drought) and Drought (Summer Drought)

	SOP-A		SOP-B		SOP-C		SOP-D	
	Normal	Drought	Normal	Drought	Normal	Drought	Normal	Drought
Silo	0.544	0.353			0.259	0.205		
Bale wrap	0.197	0.197	0.466	0.450	0.259	0.205		
Hay	0.197	0.197	0.296	0.277	0.259	0.205		
Supplementation	0.000	0.100	0.000	0.716	0.000	0.462	0.000	0.462
Grazed area	0.380	0.862	0.380	0.462	0.380	0.716	0.762	0.762
Stock	0.300	0.194	0.364	0.005	0.251	-0.028	0.000	-0.432

esting to carry out qualitative surveys in order to discuss the results of FCM simulations and adaptive capacity assessment with managers of SES. The results of these surveys could also constitute relevant data for an inductive and qualitative evaluation of resilience and adaptive capacity.

Conclusion de l'article

LES PROPRIÉTÉS DYNAMIQUES des systèmes de pratiques ont été étudiées en leur appliquant le modèle fonctionnel du 'Fuzzy Cognitive Mapping'. Cette technique permet d'évaluer l'état d'équilibre des variables du système avec une série de contraintes de l'environnement. Elle permet, en outre, de simuler l'effet d'une variation de ces contraintes sur l'équilibre du système.

Dans ce chapitre, nous avons (i) simulé une productivité des prairies limitée par de mauvaises conditions météorologiques et (ii) évalué l'effet de ces conditions sur le fonctionnement de l'exploitation pour les deux systèmes de pratiques contrastés mis en évidence par la classification (voir chapitre 8).

Les résultats de l'étude confirment que les effets de mauvaises conditions météorologiques sont contrastés entre les deux systèmes de pratiques. Ils confirment que la méthode pourrait être appliquée pour évaluer les capacités d'adaptation des éleveurs et, indirectement, la résilience de leur exploitation. Ces résultats restent cependant illustratifs et de nombreuses questions ont été soulevées en ce qui concerne l'élaboration des cartes et le calcul itératif pour leur équilibrage (voir la discussion générale, au chapitre 9).

Pour pallier certaines limites d'une telle évaluation mécaniste des capacités des éleveurs et de la résilience de leur ferme, nous proposons d'analyser ces éléments en utilisant la fonction descriptive et inductive de CMASOP. Cette application est présentée en temps qu'approche exploratoire, dans les perspectives de notre thèse (chapitre 10). Une rapide synthèse théorique sur les notions de résilience est proposée à la section 10.1 (chapitre 10). Les premiers résultats de l'application d'une variante descriptive de CMASOP pour documenter les capacités d'adaptation des éleveurs famennois font l'objet de la section 10.2.

BIBLIOGRAPHIE

- Ackermann, F. & Eden, C. 2010. *Systems Approaches to Managing Change : A Practical Guide*, chapter Strategic Options Development and Analysis, pages 135–156. The Open University in Association with Springer-Verlag.
- Aguilar, J. 2005. A survey about fuzzy cognitive maps papers (Invited paper). *International Journal of Computational Cognition*, 3(2) :27.
- Ajzen, I. 1991. The theory of planned behavior. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50(2) :179 – 211.
- Alary, V., Messad, S., Tache, C. & Tillard, E. 2002. Approach to the diversity of dairy farm systems in Reunion. *Revue d'Élevage et de Médecine Veterinaire des Pays Tropicaux*, 55(4) :285–297.
- Altieri, M. A. 1989. Agroecology : a new research and development paradigm for world agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 27(1) :37–46.
- Angermüller, J. 2005. Qualitative Methods of Social Research in France : Reconstructing the Actor, Deconstructing the Subject. *Forum Qualitative Sozialforschung / Forum : Qualitative Social Research*, 6(3).
- Ascough, J. C., II, Maier, H. R., Ravalico, J. K. & Strudley, M. W. 2008. Future research challenges for incorporation of uncertainty in environmental and ecological decision-making. *Ecological Modelling*, 219(3-4, Sp. Iss. SI) :383–399.
- Aubry, C., Papy, F. & Capillon, A. 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agricultural Systems*, 56(1) :45–65.
- Axelrod, R. & Hamilton, W. D. 1981. The Evolution of Cooperation. *Science*, 211(4489) :pp. 1390–1396.

- Axelrod, R., Institute of public policy studies (Ann Arbor, M. & Institute of international studies (Berkeley, C. 1976. *Structure of decision : The cognitive maps of political elites*. Princeton University Press Princeton, NJ.
- Barabasi, A.-L. & Oltvai, Z. N. 2004. Network biology : understanding the cell's functional organization. *Nat Rev Genet*, 5(2) :101–113.
- Bennett, A. T. 1996. Do animals have cognitive maps ? *Journal of Experimental Biology*, 199(1) :219–24.
- Berkes, F. 2004. Rethinking Community-Based Conservation. *Conservation Biology*, 18(3) :621–630.
- Berkes, F., Folke, C. & Colding, J. 1998. *Linking social and ecological systems : management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press.
- Berkes, F., Colding, J. & Folke, C. 2000. Rediscovery of Traditional Ecological Knowledge as Adaptive Management. *Ecological Applications*, 10(5) :pp. 1251–1262.
- Blanc-Pamard, C. & Milleville, P. 1985. Pratiques paysannes, perception du milieu et systèmes agraires. *Dynamique des systèmes agraires. A travers champs ; agronomes et géographes.*, pages 101–138.
- Blanchet, A. & Gotman, A. 1992. *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*. Nathan, Paris.
- Boccaletti, S., Latora, V., Moreno, Y., Chavez, M. & Hwang, D.-U. 2006. Complex networks : Structure and dynamics. *Physics Reports*, 424(4) :175 – 308.
- Boisseau, P. 1998. Critique de Jean-Pierre Darré. Préface de Jean-Pierre Chauveau (Orstom) *L'invention des pratiques dans l'agriculture Vulgarisation et production locale de connaissance*. *Économie rurale*, 244(1) :60–61.
- Borcard, D., Gillet, F. & Legendre, P. 2011. *Numerical ecology with R*. Springer, New York.
- Borgatti, S. P., Mehra, A., Brass, D. J. & Labianca, G. 2009. Network Analysis in the Social Sciences. *Science*, 323(5916) :892–895.
- Bougon, M., Weick, K. & Binkhorst, D. 1977. Cognition in Organizations : An Analysis of the Utrecht Jazz Orchestra. *Administrative Science Quarterly*, 22(4) :pp. 606–639.

- Brodt, S., Klonsky, K. & Tourte, L. 2006. Farmer goals and management styles : Implications for advancing biologically based agriculture. *Agricultural Systems*, 89(1) :90 – 105.
- Brossier, J. 1987. Système et système de production. Note sur ces concepts. *Cah. Sci. Hum.*, 23(3-4) :377–390.
- Carley, K. & Palmquist, M. 1992. Extracting, Representing, and Analyzing Mental Models. *Social Forces*, 70(3) :pp. 601–636.
- Carpani, M. & Giupponi, C. 2010. Construction of a bayesian network for the assessment of agri-environmental measures - The case study of the venice lagoon watershed. *Italian Journal of Agronomy*, 5(3) :265–274.
- Carpenter, S., Walker, B., Anderies, J. M. & Abel, N. 2001. From metaphor to measurement : Resilience of what to what? *Ecosystems*, 4(8) :765–781.
- Carpenter, S., Cole, J., Pace, M., Batt, R., Brock, W., Cline, J., T. and Coloso, Hodgson, J., Kitchell, J., Seekell, D., Smith, L. & Weidel, B. 2011. Early warnings of regime shifts : A whole-ecosystem experiment. *Science*, 332(6033) :1079–1082.
- Carpenter, S. R., Arrow, K. J., Barrett, S., Biggs, R., Brock, W. A., Crépin, A.-S., Engström, G., Folke, C., Hughes, T. P., Kautsky, N. *et al.*. 2012. General resilience to cope with extreme events. *Sustainability*, 4(12) :3248–3259.
- Cerf, M. 1996. Approche cognitive de pratiques agricoles : intérêts et limites pour les agronomes. *Natures Sciences Sociétés*, 4(4) :327–340.
- Chambers, R. & Ghildyal, B. 1985. Agricultural research for resource-poor farmers : The farmer-first-and-last model. *Agricultural Administration*, 20(1) :1–30.
- Checkland, P. 1981. *Systems Thinking, Systems Practice.*. Wiley, New York.
- Chema, S., Marks, L., Parcell, J. & Bredahl, M. 2006. Marketing biotech soy-beans with functional health attributes. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 54(4) :685–703.
- Chen, C.-H., Bai, Y.-Y., Huang, G.-H. & Tang, S. e. 2007. Revisiting the concept of malnutrition in older people. *Journal of Clinical Nursing*, 16(11) :2015–2026.
- Cochet, H. 2011. *L'agriculture comparée*. Quae éditions.
- Cochet, H. 2012. The systeme agraire concept in francophone peasant studies. *Geoforum*, 43(1) :128 – 136.

- Coleno, F.-C. & Duru, M. 2005. L'apport de la gestion de production aux sciences agronomiques. Le cas des ressources fourragères. *Natures Sciences Sociétés*, 13(3) :247–257.
- Cometti, J.-P. 1994. *La philosophie anglo-saxonne*, chapter Le pragmatisme, pages 387–492. Presse Universitaire de France.
- Conway, G. 1987. THE PROPERTIES OF AGROECOSYSTEMS. *Agricultural Systems*, 24(2) :95–117.
- Corbin, J. M. & Strauss, A. 1990. Grounded theory research : Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13 :3–21.
- Costanza, R. 1995. Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Ecological Economics*, 15(2) :89–90.
- Creswell, J. W. 2003. *Research design : Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage.
- Cristofini, B., Deffontaines, J.-P., Raichon, C. & Verneuil, B. d. 1978. Pratiques d'élevage en Castagniccia : Exploration d'un milieu naturel et social en Corse. *Etud. Rurales*, 71/72(71/72) :89–109.
- Cros, M. J., Duru, M., Garcia, F. & Martin-Clouaire, R. 2004. Simulating management strategies : the rotational grazing example. *Agricultural Systems*, 80(1) :23–42.
- Cutcliffe, J. R. 2000. Methodological issues in grounded theory. *Journal of Advanced Nursing*, 31(6) :1476–1484.
- Dagnelie, P. 2007. *Statistique théorique et appliquée. Tome 1. Statistique descriptive et bases de l'inférence statistique*. Editions De Boeck Université, Bruxelles.
- d'Amboise, G. 2013. Le projet de recherche en administration. Un guide général à sa préparation.
- Darnhofer, I., Bellon, S., Dedieu, B. & Milestad, R. 2008. Adaptive farming systems - A position paper. In Dedieu, B. & Zasser-Bedoya, S., editors, *8th European IFSA Symposium, 6-10 July 2008, Clermont-Ferrand (France)*, page 1016. INRA SAD.
- Darnhofer, I., Fairweather, J. & Moller, H. 2010. Assessing a farm's sustainability : insights from resilience thinking. *International Journal of Agricultural Sustainability*, 8(3) :186–198.

- Darnhofer, I., Gibon, D. & Dedieu, B. 2012. *Farming Systems into the 21st century : The new dynamic*, chapter Farming Systems Research : An approach to inquiry. Dordrecht : Springer.
- Darré, J. 1985. *La parole et la technique : l'univers de pensée des éleveurs du Ternois*. Harmattan, Paris.
- Darré, J. 1996. *L'invention des pratiques dans l'agriculture : vulgarisation et production locale de connaissance*. Editions Karthala.
- Darré, J., Mathieu, A. & Lasseur, J. 2004. *Le sens des pratiques. Conceptions d'agriculteurs et modèles d'agronomes*. Science Update. INRA Editions, Paris.
- de Bonneval, L. 1993. *Systèmes agraires. Systèmes de production. Vocabulaire..* Paris.
- de Sardan, J.-P. O. 2001. Les trois approches en anthropologie du développement. *Tiers-Monde*, 42(168) :729-754.
- Dedieu, B. 2009. Adaptation des systèmes d'élevage et incertitudes sur l'avenir. In *Les filières bovines dans la tourmente. Produire plus et mieux avec moins..*, volume 14 of *Carrefour des Productions animales..*, pages 31-38.
- Dedieu, B. & Ingrand, S. 2010. Incertainties and adaptative capacities : theories and applications to the analysis of livestock farming systems dynamics. *Productions Animales*, 23(1) :81-90.
- Dedieu, B., Chia, E. & Leclerc, B. 2008. *L'élevage en mouvement : flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores*. Éditions Quae.
- Deffontaines, J.-P. & Raichon, C. 1981. Systèmes de pratiques, terroir, moyen d'analyse d'une agriculture régionale? *Economie rurale*, 142 :30.
- Dent, J. B., EdwardsJones, G. & McGregor, M. J. 1995. Simulation of ecological, social and economic factors in agricultural systems. *Agricultural Systems*, 49(4) :337-351.
- Dessein, J. & Nevens, F. 2007. 'I'm sad to be glad'. An analysis of farmers' pride in Flanders. *Sociologia Ruralis*, 47(3) :273-292.
- Dickerson, J. A. & Kosko, B. 1994. Virtual Worlds as Fuzzy Cognitive Maps. *Presence*, 3(2) :73-89.
- Dolci, P., Ribeiro, J. & Maçada, A. 2012. Determinants of use of futures markets for coffee farmers in south and southwest of Minas Gerais [Gestão dos investimentos em TI baseado na Gestão de Portfolio de TI (GPTI)]. *Espacios*, 33(11) :4.

- Dounias, I., Aubry, C. & Capillon, A. 2002. Decision-making processes for crop management on African farms. Modelling from a case study of cotton crops in northern Cameroon. *Agricultural Systems*, 73(3) :233–260.
- Dray, S. & Dufour, A. 2007. The ade4 package : implementing the duality diagram for ecologists. *Journal of Statistical Software*, 22(4) :1–20.
- Dufumier, M. 2007. Agriculture comparée et développement agricole. *Revue Tiers Monde*, (3) :611–626.
- Durand, D. 2002. *La systémique. Que sais-je ?* PUF.
- Durkheim, E. 1914. *Pragmatisme et sociologie. Cours dispensé à La Sorbonne en 1913-1914*, chapter Neuvième leçon - Les critères pragmatistes de la vérité, pages 58–62.
- Duru, M., Papy, F. & Soler, L. G. 1988. Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 74 :81 – 93.
- Eden, C. 1988. Cognitive mapping. *European Journal of Operational Research*, 36(1) :1–13.
- Eden, C. 2004. Analyzing cognitive maps to help structure issues or problems. *European Journal of Operational Research*, 159(3) :673–686.
- Eden, C. & Ackermann, F. 2004. Cognitive mapping expert views for policy analysis in the public sector. *European Journal of Operational Research*, 152(3) :615–630.
- Eden, C., Ackermann, F. & Cropper, S. 1992. THE ANALYSIS OF CAUSE MAPS. *Journal of Management Studies*, 29(3) :309–324.
- Edwards-Jones, G. 2006. Modelling farmer decision-making : concepts, progress and challenges. *Animal Science*, 82(Part 6) :783–790.
- Etienne, M. 2010. *La modélisation d'accompagnement : une démarche participative en appui au développement durable*,. Quae Editions.
- Euler, L. 1736. *Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis. Commentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae*, 8 :128–140.
- Fairweather, J. 2010. Farmer models of socio-ecologic systems : Application of causal mapping across multiple locations. *Ecological Modelling*, 221(3) :555–562.

- Fairweather, J. & Hunt, L. 2011. Can farmers map their farm system? Causal mapping and the sustainability of sheep/beef farms in New Zealand. *Agriculture and Human Values*, 28(1) :55–66.
- Farmar-Bowers, Q. & Lane, R. 2009. Understanding farmers' strategic decision-making processes and the implications for biodiversity conservation policy. *Journal of Environmental Management*, 90(2) :1135–1144.
- Fath, B. D. & Patten, B. C. 1999. Review of the foundations of network environ analysis. *Ecosystems*, 2(2) :167–179.
- Fath, B. D., Scharler, U. M., Ulanowicz, R. E. & Hannon, B. 2007. Ecological network analysis : network construction. *ecological modelling*, 208(1) :49–55.
- Feltz, B. 1991. *Croisées biologiques : Systémique et analytique, écologie et biologie moléculaire en dialogue..* Ciaco, Louvain-la-Neuve.
- Folke, C. 2006. Resilience : The emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 16(3) :253–267.
- Folke, C., Carpenter, S. R., Walker, B., Scheffer, M., Chapin, T. & Rockstrom, J. 2010. Resilience Thinking : Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, 15(4).
- Fons, S., Achari, G. & Ross, T. 2004. A fuzzy cognitive mapping analysis of the impacts of an eco-industrial park. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 15(2) :75–88.
- Gaspar, P., Escribano, M., Mesias, F., Ledesma, A. & Pulido, F. 2008. Sheep farms in the Spanish rangelands (dehesas) : Typologies according to livestock management and economic indicators. *Small Ruminant Research*, 74(1-3) :52–63.
- Geels, F. W. & Schot, J. 2007. Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy*, 36(3) :399–417.
- Gentry, J., Long, L., Gentleman, R., Falcon, S., Hahne, F., Sarkar, D. & Hansen, K. 2010. *Rgraphviz : Provides plotting capabilities for R graph objects.*
- Giordano, R., D'Agostino, D., Apollonio, C., Lamaddalena, N. & Vurro, M. 2013. Bayesian Belief Network to support conflict analysis for groundwater protection : The case of the Apulia region. *Journal of Environmental Management*, 115 :136–146.

- Girard, N. 2006. Categorising farmers' practices to reformulate a problem in partnership : A method for building situation-specific typologies. *Cahiers Agricultures*, 15(3) :261–272.
- Girard, N. & Hubert, B. 1999. Modelling expert knowledge with knowledge-based systems to design decision aids - The example of a knowledge-based model on grazing management. *Agricultural Systems*, 59(2) :123–144.
- Girod-Séville, M. & Perret, V. 2002. *Questions de méthodes en sciences de gestion*, chapter Chap. 12 - Les critères de validité en sciences des organisations : les apports du pragmatisme, pages 315–333. EMS.
- Glaser, B. & Strauss, A. 1967. *The Discovery of Grounded Theory. Strategies for Qualitative Research..* Aldine Publishing, New York.
- Goodman, L. A. 1961. Snowball Sampling. *The Annals of Mathematical Statistics*, 32(1) :pp. 148–170.
- Gouttenoire, L., Cournut, S. & Ingrand, S. 2010. Building causal maps of livestock farming systems using a participatory method with dairy farmers. In *9th European IFSA Symposium*. Vienna (Austria).
- Gouttenoire, L., Cournut, S. & Ingrand, S. 2011. Modelling as a tool to redesign livestock farming systems : A literature review. *Animal*, 5(12) :1957–1971.
- Gower, J. C. & Legendre, P. 1986. Metric and Euclidean properties of dissimilarity coefficients. *Journal of Classification*, 3 :5–48.
- Gras, R., Benoît, M., Deffontaines, J., Duru, M., Lafarge, M., Langlet, A. & Osty, P. L. 1989. *Le fait technique en agro. Activité agricole, concepts et méthodes d'étude*. Coll. Alternatives rurales. Coéditions L'Harmattan - INRA, Paris.
- Gray, S., Chan, A., Clark, D. & Jordan, R. 2012. Modeling the integration of stakeholder knowledge in social-ecological decision-making : Benefits and limitations to knowledge diversity. *Ecological Modelling*, 229(0) :88 – 96.
- Guba, E. G. 1981. Criteria for assessing the trustworthiness of naturalistic inquiries. *ECTJ*, 29(2) :75–91.
- Gunderson, L. H., Carpenter, S. R., Folke, C., Olsson, P. & Peterson, G. 2006. Water RATs (resilience, adaptability, and transformability) in lake and wetland social-ecological systems. *Ecology and Society*, 11(1).
- Guthman, J. 2008. Thinking inside the neoliberal box : The micro-politics of agro-food philanthropy. *Geoforum*, 39(3) :1241–1253.

- Hall, C. & Sandilands, V. 2007. Public attitudes to the welfare of broiler chickens. *Animal Welfare*, 16(4) :499–512.
- Halverson, R. 2003. Systems of practice : How leaders use artifacts to create professional community in schools. *Education Policy Analysis Archives*, 11.
- Harary, F., Norman, R. & Cartwright, D. 1965. *Structural models : An introduction to the theory of directed graphs*. Wiley.
- Harper, J. 1974. Agricultural ecosystems. *Agro-ecosystems*, 1 :1–6.
- Hennart, S., Lebacqz, T., Rabier, F., Lejeune, L., Paul, C., Peeters, P., Stilmant, D. & Morhain, B. 2010. Typologie des exploitations agricoles wallonnes. In *Proceedings of the 17e Rencontres, Recherches, Ruminants*, pages 241–244. Paris.
- Hirata, H. & Ulanowicz, R. E. 1984. Information theoretical analysis of ecological networks. *International journal of systems science*, 15(3) :261–270.
- Hjortsø, C. b., Christensen, S. & Tarp, P. 2005. Rapid stakeholder and conflict assessment for natural resource management using cognitive mapping : The case of Damdoi Forest Enterprise, Vietnam. *Agriculture and Human Values*, 22(2) :149–167.
- Hobbs, B. F., Ludsins, S. A., Knight, R. L., Ryan, P. A., Biberhofer, J. & Ciborowski, J. J. H. 2002. Fuzzy cognitive mapping as a tool to define management objectives for complex ecosystems. *Ecological Applications*, 12(5) :1548–1565.
- Holling, C. 1969. Stability in ecological and social systems. *Brookhaven symposia in biology*, 22 :128–141.
- Holling, C. 1973. Resilience and stability of ecological systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 4 :1–23.
- Holling, C., Gunderson, L. & Ludwig, D. 2002. *Panarchy : understanding transformations in human and natural systems*, chapter In *Search of a Theory of Adaptive Change*, pages 3–24. Island Pr.
- Holling, C. S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4(5) :390–405.
- Hong, T. & Han, I. 2002. Knowledge-based data mining of news information on the Internet using cognitive maps and neural networks. *Expert Systems with Applications*, 23(1) :1–8.

- Hottois, G. 1997. *De la Renaissance à la Postmodernité. Une histoire de la philosophie moderne et contemporaine*. Editions De Boeck Université, Bruxelles.
- Huang, R. 2010. *RQDA :R-based Qualitative Data Analysis*.
- Hukkinen, J. 1993. Institutional distortion of drainage modeling in Arkansas River Basin. *Journal of Irrigation & Drainage Engineering - ASCE*, 119(5) :743-755.
- Huntington, H., Callaghan, T., Fox, S. & Krupnik, I. 2004. Matching Traditional and Scientific Observations to Detect Environmental Change : A Discussion on Arctic Terrestrial Ecosystems. *Ambio*, pages pp. 18-23.
- Huntington, H. P. 2000. Using Traditional Ecological Knowledge in Science : Methods and Applications. *Ecological Applications*, 10(5) :1270-1274.
- Hénin, S., Féodoroff, A., Gras, R. & Monnier, G. 1960. *Le profil culturel, principes de physique du sol..* SEIA, Paris.
- Ingram, J., Fry, P. & Mathieu, A. 2010. Revealing different understandings of soil held by scientists and farmers in the context of soil protection and management. *Land Use Policy*, 27(1) :51 - 60.
- INS. 2006. Service Public Fédéral - Économie.
- Isaac, M., Dawoe, E. & Sieciechowicz, K. 2009. Assessing local knowledge use in agroforestry management with cognitive maps. *Environmental Management*, 43(6) :1321-1329.
- Jager, W., Janssen, M., De Vries, H., De Greef, J. & Vlek, C. 2000. Behaviour in commons dilemmas : Homo economicus and Homo psychologicus in an ecological-economic model. *Ecological Economics*, 35(3) :357-379.
- James, W. 1968. *Le pragmatisme (trad. E. Le Brun)*. Flammarion.
- Janssen, M. A., Walker, B. H., Langridge, J. & Abel, N. 2000. An adaptive agent model for analysing co-evolution of management and policies in a complex rangeland system. *Ecological Modelling*, 131(2-3) :249-268.
- Janssen, S. & van Ittersum, M. K. 2007. Assessing farm innovations and responses to policies : A review of bio-economic farm models. *Agricultural Systems*, 94(3) :622-636.
- Kamada, T. & Kawai, S. 1989. An algorithm for drawing general undirected graphs. *Information Processing Letters*, 31(1) :7-15.

- Kaplan, F. & Levine, D. 1981. Cognitive mapping of a folk taxonomy of Mexican pottery : a multivariate approach (Puebla). *American Anthropologist*, 83(4) :868–884.
- Kaufman, L. & Rousseeuw, P. J. 1990. *Finding groups in data : an introduction to cluster analysis*. Wiley, New York.
- Kaufmann, J.-C. 2004. *L'entretien compréhensif*. 128.Sociologie. Armand Colin.
- Keating, B. A., Carberry, P. S., Hammer, G. L., Probert, M. E., Robertson, M. J., Holzworth, D., Huth, N. I., Hargreaves, J. N. G., Meinke, H., Hochman, Z., McLean, G., Verburg, K., Snow, V., Dimes, J. P., Silburn, M., Wang, E., Brown, S., Bristow, K. L., Asseng, S., Chapman, S., McCown, R. L., Freebairn, D. M. & Smith, C. J. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European Journal of Agronomy*, 18(3-4) :267–288.
- Kelly, G. 1955. *The Psychology of Personal Constructs*. Norton, New York.
- Kerselaers, E., Rogge, E., Vanempten, E., Lauwers, L. & Huylenbroeck, G. V. 2013. Changing land use in the countryside : Stakeholders' perception of the ongoing rural planning processes in Flanders. *Land Use Policy*, 32(0) :197 – 206.
- Klein, J. H. & Cooper, D. F. 1982. Cognitive maps of decision-makers in a complex game. *Journal of the Operational Research Society*, 33(1) :63–71.
- Kok, K. 2009. The potential of Fuzzy Cognitive Maps for semi-quantitative scenario development, with an example from Brazil. *Global Environmental Change*, 19(1) :122 – 133.
- Kosko, B. 1986. Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies*, 24(1) :65–75.
- Koulouriotis, D. E., Diakoulakis, I. E., Emiris, D. M. & Zopounidis, C. D. 2005. Development of dynamic cognitive networks as complex systems approximators : validation in financial time series. *Applied Soft Computing*, 5(2) :157–179.
- Krefting, L. 1991. Rigor in qualitative research : The assessment of trustworthiness. *The American journal of occupational therapy*, 45(3) :214–222.
- Kwahk, K.-Y. & Kim, Y.-G. 1999. Supporting business process redesign using cognitive maps. *Decision Support Systems*, 25(2) :155–178.
- Lade, S. 2013. *Modelling social-ecological transformation*. Montpellier.

- Landais, E. 1998. Modelling farm diversity new approaches to typology building in France. *Agricultural Systems*, 58(4) :505–527.
- Landais, E., Deffontaines, J.-P. & Benoit, M. 1988. Les pratiques des agriculteurs Point de vue sur un courant nouveau de la recherche agronomique. *Études rurales*, (109) :125–158.
- Lansford, J., Killeya-Jones, L., Miller, S. & Costanzo, P. 2009. Early adolescents' social standing in peer groups : Behavioral correlates of stability and change. *Journal of Youth and Adolescence*, 38(8) :1084–1095.
- Lasseur, J. 2005. Sheep farming systems and nature management of rangeland in French Mediterranean mountain areas. *Livestock Production Science*, 96(1 SPEC. ISS.) :87–95.
- Lazard, J., Baruthio, A., Mathé, S., Rey-Valette, H., Chia, E., Clément, O., Aubin, J., Morissens, P., Mikolasek, O., Legendre, M. *et al.*. 2010. Aquaculture system diversity and sustainable development : fish farms and their representation. *Aquatic living resources*, 23(02) :187–198.
- Lebart, L., Piron, M. & Morineau, A. 2006. *Statistique exploratoire multidimensionnelle : visualisations et inférences en fouille[s] de données*. Dunod, Paris.
- Legendre, P. & Legendre, L. 1998. *Numerical ecology*. Elsevier, Amsterdam.
- Lemery, B., Ingrand, S., Dedieu, B. & Dégrange, B. 2005. Agir en situation d'incertitude : le cas des éleveurs de bovins allaitants. *Économie rurale*, 288 :57–69.
- Levitt, P. 1998. Social remittances : Migration driven local-level forms of cultural diffusion. *International Migration Review*, 32(4) :926–948.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. 1985. *Naturalistic inquiry*, volume 75. Sage Publications.
- Loucks, O. L. 1977. Emergence of Research on Agro-Ecosystems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 8(1) :173–192.
- Louhichi, K., Alary, V. & Grimaud, P. 2004. A dynamic model to analyse the bio-technical and socio-economic interactions in dairy farming systems on the Reunion Island. *Animal Research*, 53(5) :363–382.
- Madelrieux, S., Dedieu, B., Dobremez, L. & Girard, N. 2009. Patterns of work organisation in livestock farms : The ATELAGE approach. *Livestock Science*, 121(1) :28–37.

- Madu, C. & Jacob, R. 1991. Multiple perspectives and cognitive mapping to technology transfer decisions. *Futures*, 23(9) :978–997.
- Maechler, M., Rousseeuw, P., Struyf, A., Hubert, M. & Hornik, K. 2011. *cluster : Cluster Analysis Basics and Extensions*.
- Mago, V. K., Bakker, L., Papageorgiou, E. I., Alimadad, A., Borwein, P. & Dabbaghian, V. 2012. Fuzzy cognitive maps and cellular automata : An evolutionary approach for social systems modelling. *Applied Soft Computing*, (0) :-.
- Marten, G. 1988. Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. *Agricultural Systems*, 26(4) :291–316.
- Martin, S. 2004. The cost of restoration as a way of defining resilience : a viability approach applied to a model of lake eutrophication. *Ecology and Society*, 9(2) :8.
- Maseda, F., Diaz, F. & Alvarez, C. 2004. Family dairy farms in Galicia (NW Spain) : classification by some family and land factors relevant to quality of life. *Biosyst Eng*, 87(4) :509–521.
- Mathevet, R. M. R., Etienne, M., Lynam, T. & Calvet, C. 2011. Water Management in the Camargue Biosphere Reserve : Insights from Comparative Mental Models Analysis. *Ecology and Society*, 16(1).
- Mathieu, A. 2004. Comparing farmer conceptions with scientific models. Grazing management for dairy cows in the Jura Mountains. *Natures Sciences Sociétés*, 12(4) :387–399.
- Maton, L., Leenhardt, D., Goulard, M. & Bergez, J.-E. 2005. Assessing the irrigation strategies over a wide geographical area from structural data about farming systems. *Agricultural Systems*, 86(3) :293–311.
- Mazoyer, M. & Roudart, L. 2002. *Histoire des agriculture du monde. Du néolithique à la crise contemporaine*. Édition du Seuil, Paris.
- Mbetid-Bessane, E., Havard, M., Nana, P. D., Djonnewa, A., Djondang, K. & Leroy, J. 2003. Agricultural exploitation typologies in the savannahs of Central Africa : a look at methods used and their usefulness for research and development. In *Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face a de nouveaux défis*, pages 4–5. Garoua, Cameroun.
- McCown, R. L. 2002a. Changing systems for supporting farmers' decisions : problems, paradigms, and prospects. *Agricultural Systems*, 74(1) :179–220.

- McCown, R. L. 2002b. Locating agricultural decision support systems in the troubled past and socio-technical complexity of [']models for management'. *Agricultural Systems*, 74(1) :11 – 25.
- McCown, R. L., Carberry, P. S., Hochman, Z., Dalgliesh, N. P. & Foale, M. A. 2009. Re-inventing model-based decision support with Australian dryland farmers. 1. Changing intervention concepts during 17 years of action research. *Crop & Pasture Science*, 60(11) :1017–1030.
- McIntyre, B. D., Herren, H. R., Wakhungu, J. & Watson, R. T., editors. 2009. *International assessment of agricultural knowledge, science and technology for development (IAASTD) : synthesis report with executive summary : a synthesis of the global and sub-global IAASTD reports*. Island Press.
- McNaughton, B. L., Battaglia, F. P., Jensen, O., Moser, E. I. & Moser, M.-B. 2006. Path integration and the neural basis of the 'cognitive map'. *Nat Rev Neurosci*, 7(8) :663–678.
- Meliadou, A., Santoro, F., Nader, M., Dagher, M., Al Indary, S. & Salloum, B. 2012. Prioritising coastal zone management issues through fuzzy cognitive mapping approach. *Journal of Environmental Management*, 97(1) :56–68.
- Mellado, V., Bermejo, M., Blanco, L. & Ruiz, C. 2008. The classroom practice of a prospective secondary biology teacher and his conceptions of the nature of science and of teaching and learning science. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 6(1) :37–62.
- Mendoza, G. A. & Martins, H. 2006. Multi-criteria decision analysis in natural resource management : A critical review of methods and new modelling paradigms. *Forest Ecology and Management*, 230(1-3) :1–22.
- Mendoza, G. A. & Prabhu, R. 2006. Participatory modeling and analysis for sustainable forest management : Overview of soft system dynamics models and applications. *Forest Policy and Economics*, 9(2) :179–196.
- Merot, A., Bergez, J. E., Capillon, A. & Wery, J. 2008. Analysing farming practices to develop a numerical, operational model of farmers' decision-making processes : An irrigated hay cropping system in France. *Agricultural Systems*, 98(2) :108–118.
- Miles, M. B. & Huberman, A. M. 2003. *Analyse des données qualitatives*. Editions De Boeck Université, Bruxelles.
- Milleville, P. 1987. Recherches sur les pratiques des agriculteurs. *Cahiers de la Recherche-Développement*, pages 3–7 multigr.

- Motlagh, O., Tang, S., Ismail, N. & Ramli, A. 2012. An expert fuzzy cognitive map for reactive navigation of mobile robots. *Fuzzy Sets and Systems*, 201(0) :105 – 121.
- Moulin, C. 2006. Une méthode pour comprendre les pratiques d'alimentation des herbivores domestiques : Analyse du fonctionnement des systèmes d'alimentation par enquêtes en élevages - Guide méthodologique. Technical Report 030233014, Institut de l'élevage.
- Moulin, C., Girard, N. & Dedieu, B. 2001. L'apport de l'analyse fonctionnelle des systèmes d'alimentation. *Fourrages*, (167) :337–363.
- Murray-Prior, R. 1998. Modelling farmer behaviour : a personal construct theory interpretation of hierarchical decision models. *Agricultural Systems*, 57(4) :541–556.
- Murungweni, C., van Wijk, M., Andersson, J., Smaling, E. & Giller, K. 2011. Application of fuzzy cognitive mapping in livelihood vulnerability analysis. *Ecology and Society*, 16(4).
- Najafi, A. 2011. Prediction of the price transmission performance using fuzzy cognitive maps. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9) :1281–1287.
- Neubert, M. G. & Caswell, H. 1997. Alternatives to Resilience for Measuring the Responses of Ecological Systems to Perturbations. *Ecology*, 78(3) :pp. 653–665.
- Newig, J., Gaube, V., Berkhoff, K., Kaldrack, K., Kastens, B., Lutz, J., Schlußmeier, B., Adensam, H. & Haberl, H. 2008. The role of formalisation, participation and context in the success of public involvement mechanisms in resource management. *Systemic Practice and Action Research*, 21(6) :423–441.
- Okey, B. W. 1996. Systems Approaches and Properties, and Agroecosystem Health. *Journal of Environmental Management*, 48(2) :187 – 199.
- Olsson, P., Gunderson, L. H., Carpenter, S. R., Ryan, P., Lebel, L., Folke, C. & Holling, C. S. 2006. Shooting the rapids : Navigating transitions to adaptive governance of social-ecological systems. *Ecology and Society*, 11(1) :–.
- Oltenucu, P., Rounsaville, T., Milligan, R. & Foote, R. 1981. Systems analysis for designing reproductive management programs to increase production and profit in dairy herds. *Journal of Dairy Science*, 64(10) :2096–2104.

- Ortolani, L., McRoberts, N., Dendoncker, N. & Rounsevell, M. 2010. Analysis of Farmers' Concepts of Environmental Management Measures : An Application of Cognitive Maps and Cluster Analysis in Pursuit of Modelling Agents' Behaviour. In Glykas, M., editor, *Fuzzy Cognitive Maps*, volume 247 of *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, pages 363–381. Springer Berlin Heidelberg.
- Osty, P. L. 1978. L'exploitation agricole vue comme un système. Bulletin technique d'information, Ministère de l'Agriculture, Paris.
- Özesmi, U. & Özesmi, S. 2003. A participatory approach to ecosystem conservation : Fuzzy cognitive maps and stakeholder group analysis in Uluabat Lake, Turkey. *Environmental Management*, 31(4) :518–531.
- Özesmi, U. & Özesmi, S. 2004. Ecological models based on people's knowledge : a multi-step fuzzy cognitive mapping approach. *Ecological Modelling*, 176(1-2) :43 – 64.
- Pameseb, A. 2011. Promotion de l'Agrométéorologie en Wallonie.
- Papageorgiou, E., Markinos, A. & Gemptos, T. 2009. Application of fuzzy cognitive maps for cotton yield management in precision farming. *Expert Systems with Applications*, 36(10) :12399–12413.
- Papageorgiou, E., Aggelopoulou, K., Gemtos, T. & Nanos, G. 2013. Yield prediction in apples using Fuzzy Cognitive Map learning approach. *Computers and Electronics in Agriculture*, 91 :19–29.
- Papageorgiou, E. I. 2011. A new methodology for Decisions in Medical Informatics using fuzzy cognitive maps based on fuzzy rule-extraction techniques. *Applied Soft Computing*, 11(1) :500–513.
- Papy, F. 1994. *Savoir pratique sur les systèmes techniques et aide à la décision. Prise de décision et aide à la décision en agriculture : présentation d'une démarche*, CIRAD-INRA. Montpellier. Francia, 2 :1–2.
- Papy, F. 2004. Avec les agriculteurs, comprendre les problèmes, chercher des solutions. *Natures Sciences Sociétés*, 12 :400–401.
- Pearson, C. & Ison, R. 1997. *Agronomy of grassland systems*. Cambridge Univ Pr.
- Perrot, C. 1990. Typologie d'exploitations construite par agrégation autour de pôles définis à dire d'experts. Proposition méthodologique et premiers résultats obtenus en Haute-Marne. *INRA Prod. Anim*, 3(1) :51–66.

- Perrot, C., Landais, E. & Pierret, P. 1995. L'analyse des trajectoires des exploitations agricoles. Une méthode pour actualiser les modèles typologiques et étudier l'évolution de l'agriculture locale. *Economie rurale*, 228(1) :35-47.
- Petrella, R. 1996. *Le Bien commun, éloge de la solidarité*. Quartier Libre. Labor.
- Pierce Colfer, C. & Newton, B., Herman. 1989. Ethnicity : An important consideration in Indonesian agriculture. *Agriculture and Human Values*, 6(3) :52-67.
- Piirimäe, K., Pachel, K. & Reihan, A. 2010. Adaptation of a method for involving environmental aspects in spatial planning of river basin management - a case study of the Narva River basin [Keskkonnaaspekti ruumilise planeerimise haaramise meetodi kohandamine vesikonna veemajandusega - Narva jõe valgla juhtumiuuring]. *Estonian Journal of Ecology*, 59(4) :302-320.
- Pinch, S., Sunley, P. & Macmillen, J. 2010. Cognitive mapping of creative practice : A case study of three English design agencies. *Geoforum*, 41(3) :377 - 387.
- Pires, A. 1997. *La recherche qualitative. Enjeux épistémologiques et méthodologiques*, volume Première partie : Épistémologie et théorie., chapter Échantillonnage et recherche qualitative : essai théorique et méthodologique, pages 113-169. Gaëtan Morin, Montréal.
- Popper, R., Andino, K., Bustamante, M., Hernandez, B. & Rodas, L. 1996. Knowledge and beliefs regarding agricultural pesticides in rural Guatemala. *Environmental Management*, 20(2) :241-248.
- Prigent, M., Fontenelle, G., Rochet, M.-J. & Trenkel, V. 2008. Using cognitive maps to investigate fishers' ecosystem objectives and knowledge. *Ocean and Coastal Management*, 51(6) :450-462.
- R Development Core Team. 2009. *R : A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rajaram, T. & Das, A. 2010. Modeling of interactions among sustainability components of an agro-ecosystem using local knowledge through cognitive mapping and fuzzy inference system. *Expert Systems with Applications*, 37(2) :1734-1744.
- Reed, M. S. 2008. Stakeholder participation for environmental management : A literature review. *Biological Conservation*, 141(10) :2417 - 2431.

- Reimann, S. 1998. On the design of artificial auto-associative neuronal networks. *Neural Networks*, 11(4) :611 – 621.
- Rezaei-Moghaddam, K., Karami, E. & Woelfel, J. 2006. The agricultural specialists' attitudes toward alternative sustainable agricultural paradigms : A Galileo method analysis. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 4(2) :310–319.
- Rorty, R. 1995. *L'espoir au lieu du savoir : introduction au pragmatisme*. Albin Michel.
- Rousseuw, P. 1987. Silhouettes - A graphical aid to the interpretation and validation of cluster-analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 20 :53–65.
- Rufino, M. C., Tittonell, P., Reidsma, P., Lopez-Ridaura, S., Hengsdijk, H., Giller, K. E. & Verhagen, A. 2009. Network analysis of N flows and food self-sufficiency-a comparative study of crop-livestock systems of the highlands of East and southern Africa. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 85(2) :169–186.
- Scheffer, M., Carpenter, S., Foley, J. A., Folke, C. & Walker, B. 2001. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 413(6856) :591–596.
- Schlüter, M., McAllister, R., Arlinghaus, R., Bunnefeld, N., Eisenack, K., Hölker, F., Milner-Gulland, E., Müller, B., Nicholson, E., Quaas, M. & Stöven, M. 2012. New horizons for managing the environment : A review of coupled social-ecological systems modeling. *Natural Resource Modeling*, 25(1) :219–272.
- Schmitzberger, I., Wrбка, T., Steurer, B., Aschenbrenner, G., Peterseil, J. & Zechmeister, H. 2005. How farming styles influence biodiversity maintenance in Austrian agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 108(3) :274 – 290.
- Sebillotte, M. 1974. *Agronomie et agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome*. Cahiers de l'ORSTOM, 24 :3–25.
- Sebillotte, M. & Soler, L. 1990. *Modélisation systémique et système agraire. Décision et organisation.*, chapter Les processus de décision des agriculteurs . Première partie : acquis et questions vives., pages 93–101. INRA.
- Seekamp, E., Cerveny, L. & McCreary, A. 2011. Institutional, individual, and socio-cultural domains of partnerships : A typology of USDA Forest Service recreation partners. *Environmental Management*, 48(3) :615–630.

- Shenton, A. K. 2004. Strategies for ensuring trustworthiness in qualitative research projects. *Education for information*, 22(2) :63–75.
- Smit, B. & Skinner, M. W. 2002. Adaptation options in agriculture to climate change : a typology. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7 :85–114.
- Soler, L. S., Kok, K., Camara, G. & Veldkamp, A. 2011. Using fuzzy cognitive maps to describe current system dynamics and develop land cover scenarios : a case study in the Brazilian Amazon. *Journal of Land Use Science*, iFirst(0) :1–27.
- Stach, W., Kurgan, L., Pedrycz, W. & Reformat, M. 2005. Genetic learning of fuzzy cognitive maps. *Fuzzy Sets and Systems*, 153(3) :371 – 401.
- Stassart, P. M., Baret, P., Grégoire, J.-C., Hance, T., Mormont, M., Reheul, D., Stilmant, D., Vanloqueren, G. & Vissser, M. 2012. L'agroécologie : Trajectoire et potentiel pour une transition vers des systèmes alimentaires durables. *Agroécologie, entre pratiques et sciences sociales*.
- Stilmant, D., Fabry, L., Lecomte, P. & Limbourg, P. 1998. Typologie d'exploitations d'élevage wallonnes : spécificité, rentabilité et impact sur l'environnement. *Rencontres autour des recherches sur les ruminants*, pages 169–172.
- Stylios, C. & Groumpos, P. 1998. The challenge of modelling supervisory systems using fuzzy cognitive maps. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 9(4) :339–345.
- Stylios, C. D., Georgopoulos, V. C., Malandraki, G. A. & Chouliara, S. 2008. Fuzzy cognitive map architectures for medical decision support systems. *Applied Soft Computing*, 8(3) :1243–1251.
- ten Berge, H., van Ittersum, M., Rossing, W., van de Ven, G. & Schans, J. 2000. Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modelling. *European Journal of Agronomy*, 13(2–3) :263 – 277.
- Thenard, V., THEAU, J., Therond, O. & Duru, M. 2007. Représenter le système d'alimentation d'élevages laitiers pour comprendre leur stratégie d'adaptation au cahier des charges d'une IGP. *INRA Prod. Anim*, 20 :409–420.
- Tikkanen, H., Lamberg, J.-A., Parvinen, P. & Kallunki, J.-P. 2005. Managerial cognition, action and the business model of the firm. *Management Decision*, 43(6) :789–809.

- Tikkanen, J., Isokääntä, T., Pykäläinen, J. & Leskinen, P. 2006. Applying cognitive mapping approach to explore the objective-structure of forest owners in a Northern Finnish case area. *Forest Policy and Economics*, 9(2) :139 – 152.
- Tilman, D., Cassman, K., Matson, P., Naylor, R. & Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898) :671–677.
- Tilt, J., Kearney, A. & Bradley, G. 2007. Understanding rural character : Cognitive and visual perceptions. *Landscape and Urban Planning*, 81(1-2) :14–26.
- Tittonell, P., Vanlauwe, B., Leffelaar, P., Rowe, E. & Giller, K. 2005. Exploring diversity in soil fertility management of smallholder farms in western Kenya : I. Heterogeneity at region and farm scale. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 110(3-4) :149–165.
- Tittonell, P., Muriuki, A., Shepherd, K., Mugendi, D., Kaizzi, K., Okeyo, J., Verchot, L., Coe, R. & Vanlauwe, B. 2010. The diversity of rural livelihoods and their influence on soil fertility in agricultural systems of East Africa - A typology of smallholder farms. *Agricultural Systems*, 103(2) :83–97.
- Tolman, E. 1948. Cognitive maps in rats and men. *Psychological Review*, 55(4) :189–208.
- Ulanowicz, R. E., Holt, R. D. & Barfield, M. 2014. Limits on ecosystem trophic complexity : insights from ecological network analysis. *Ecology letters*, 17(2) :127–136.
- Vaarst, M., Thamsborg, S., Bennedsgaard, T., Houe, H., Enevoldsen, C., Aarestrup, F. & De Snoo, A. 2003. Organic dairy farmers' decision making in the first 2 years after conversion in relation to mastitis treatments. *Livestock Production Science*, 80(1-2) :109–120.
- Valbuena, D., Verburg, P. H. & Bregt, A. K. 2008. A method to define a typology for agent-based analysis in regional land-use research. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 128(1-2) :27–36.
- van der Ploeg, J. 1994. *Born from within : practice and perspectives of endogenous rural development*, chapter Styles of Farming : An Introductory Note on Concepts and Methodology, pages 7–30. Royal van Gorcum, Assen.
- van der Ploeg, J. 2008. *The New Peasantries : struggles for autonomy and sustainability in an era of empire and globalisation*. Earthscan, London.
- van der Ploeg, J. 2010. Farming styles research : the state of the art.

- van Vliet, M., Kok, K. & Veldkamp, T. 2010. Linking stakeholders and modellers in scenario studies : The use of Fuzzy Cognitive Maps as a communication and learning tool. *Futures*, 42(1) :1–14.
- Vanclay, F., Howden, P., Mesiti, L. & Glyde, S. 2006. The Social and Intellectual Construction of Farming Styles : Testing Dutch Ideas in Australian Agriculture. *Sociologia Ruralis*, 46(1) :61–82.
- Vanloqueren, G. 2007. *Penser et gérer l'innovation en agriculture à l'heure du génie génétique : contributions d'une approche systémique d'innovations scientifiques dans deux filières agroalimentaires wallonnes pour l'évaluation, la gestion et les politiques d'innovation*. Ph.D. thesis, Université catholique de Louvain.
- Vanwindekens, F., Stilmant, D. & Baret, P. V. 2009. Processus décisionnels des éleveurs en systèmes herbagers : étude de la diversité des pratiques lors de la première coupe. In *Rencontres Autour des Recherches sur les Ruminants*, volume 16, page 119. Ctr Wallon Rech Agron, Sect Syst Agr., B-6800 Libramont, Belgium.
- Vanwindekens, F. M., Baret, P. V. & Stilmant, D. 2011. Diversity of drivers and motivations in grassland system : a cognitive mapping approach. In *Proceedings of the 10th British Grassland Society Research Conference*. BGS, Belfast, UK.
- Vanwindekens, F. M., Stilmant, D. & Baret, P. V. 2013. Development of a broadened cognitive mapping approach for analysing systems of practices in social-ecological systems. *Ecological Modelling*, 250(0) :352 – 362.
- Vanwindekens, F. M., Baret, P. V. & Stilmant, D. 2014. A new approach for comparing and categorizing farmers' systems of practice based on cognitive mapping and graph theory indicators. *Ecological Modelling*, 274(0) :1 – 11.
- Vayssieres, J., Lecomte, P., Guerrin, F. & Nidumolu, U. B. 2007. Modelling farmers' action : decision rules capture methodology and formalisation structure : a case of biomass flow operations in dairy farms of a tropical island. *Animal*, 1(5) :716–733.
- Vayssieres, J., Bocquier, F. & Lecomte, P. 2009. GAMEDE : A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises. Part II - Interactive simulation of various management strategies with diverse stakeholders. *Agricultural Systems*, 101(3) :139–151.
- Vayssieres, J., Vigne, M., Alary, V. & Lecomte, P. 2011. Integrated participatory modelling of actual farms to support policy making on sustainable intensification. *Agricultural Systems*, 104(2) :146–161.

- Vignau-Loustau, L. & Huyghe, C. 2008. *Stratégies fourragères*. France Agricole Editions.
- Vincent, C., Wilkie, D. & Szalacha, L. 2010. Pediatric nurses' cognitive representations of children's pain. *Journal of Pain*, 11(9) :854-863.
- von Bertalanffy, L. 1968. *General System theory : Foundations, Development, Applications*. George Braziller, New York.
- Vázquez, M., Pardavila, M., Lucia, M., Aguado, Y., Margall, M. & Asiain, M. 2011. Pain assessment in turning procedures for patients with invasive mechanical ventilation. *Nursing in critical care*, 16(4) :178-185.
- Walker, B., Carpenter, S., Anderies, J., Abel, N., Cumming, G., Janssen, M., Lebel, L., Norberg, J., Peterson, G. & Pritchard, R. 2002. Resilience management in social-ecological systems : a working hypothesis for a participatory approach. *Conservation Ecology*, 6(1).
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. & Kinzig, A. 2004. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2).
- Walker, B. H., Abel, N., Anderies, J. M. & Ryan, P. 2009. Resilience, Adaptability, and Transformability in the Goulburn-Broken Catchment, Australia. *Ecology and Society*, 14(1).
- Walker, D. & Myrick, F. 2006. Grounded Theory : An Exploration of Process and Procedure. *Qualitative Health Research*, 16(4) :547-559.
- Wang, R. F. & Spelke, E. S. 2002. Human spatial representation : insights from animals. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(9) :376 - 382.
- Whatmore, S., Munton, R., Little, J. & Marsden, T. 1987. Towards a typology of farm businesses in contemporary british agriculture. *Sociologia Ruralis*, 27(1) :21-37.
- Wible, J. R. 2008. The Economic Mind of Charles Sanders Peirce. *Contemporary Pragmatism*, 5(2) :39-67.
- Wickham, H. 2009. *ggplot2 : elegant graphics for data analysis*.
- Winterstein, T. & Eisikovits, Z. c. 2005. The experience of loneliness of battered old women. *Journal of Women and Aging*, 17(4) :3-19.
- Wise, L., Murta, A., Carvalho, J. & Mesquita, M. 2012. Qualitative modelling of fishermen's behaviour in a pelagic fishery. *Ecological Modelling*, 228 :112-122.

- Witvliet, M., Olthof, T., Hoeksma, J., Goossens, F., Smits, M. & Koot, H. 2010. Peer group affiliation of children : The role of perceived popularity, likeability, and behavioral similarity in bullying. *Social Development*, 19(2) :285–303.
- Wolfslehner, B. & Vacik, H. 2011. Mapping indicator models : From intuitive problem structuring to quantified decision-making in sustainable forest management. *Ecological Indicators*, 11(2) :274–283.
- Zhang, H., Song, J., Su, C. & He, M. 2013. Human attitudes in environmental management : Fuzzy Cognitive Maps and policy option simulations analysis for a coal-mine ecosystem in China. *Journal of Environmental Management*, 115 :227–234.

GLOSSAIRE

adaptabilité individus d'influencer la résilience dans un système.

carte cognitive 1. *en psychologie* — représentation interne de l'environnement spatial, avec ses itinéraires, ses voies et ses connexions écologiques, utilisée par un animal pour pouvoir décider où aller (Tolman, 1948; Bennett, 1996);
2. *dans les autres sciences* — modélisation systémique à l'aide de digraphes signés (*signed digraphs*); les graphes constitués de concepts reliés entre eux par des orientés dont les relations orientées et qui ont un signe ('+' ou '-');
3. *fuzzy cognitive map* — carte cognitive dont les relations binaires ont été substituées par des relations pondérées, associée à une variable continue, un réel compris entre -1 et 1 , fonction de l'importance de la causalité.

concept élément évoqué par l'agent pour décrire son système de pratiques; exerce une influence sur le système de pratiques ou est influencé par celui-ci.

farming styles notion qui (i) reflètent d'abord un 'discours' particulier; (ii) mènent à une structuration particulière du travail, de l'organisation du temps et de l'espace et, en conséquence, ils mènent à une organisation particulière du processus de production; (iii) reflètent des liens spécifiques entre les dimensions économiques, sociales, politiques, écologiques et technologiques des systèmes agraires (van der Ploeg, 1994).

Farming Systems Research courant de la recherche agronomique né en réaction aux courants de recherche dominants en science agronomique largement caractérisés par : (i) une utilisation quasi exclusive d'approches réductionnistes et cartésiennes pour l'expérimentation et le traitement des données qui en sont générées, (ii), un cloisonnement disciplinaire, (iii) une orientation productiviste visant l'optimisation du système et l'augmentation constante des gains de productivité mesurés à l'aide d'indicateurs simples comme le rendement et (iv) la considération d'une agriculture à haut niveau de capitalisation comme modèle idéal de développement dans lequel l'orientation vers le marché des produits de base est rendue possible grâce à l'innovation technologique, les économies

d'échelle et la spécialisation des fermes (Vanloqueren, 2007; Darnhofer *et al.*, 2012).

grounded theory theory that fit the situation being researched and work when put into use. By fit we mean that the categories must be readily (not forcibly) applicable to and indicated by the data under study; by work we mean that they must be meaningfully relevant and be able to explain the behaviour under study.

itinéraire technique combinaison logique et ordonnée de techniques permettant de contrôler le milieu et d'en tirer une production donnée (Sebillotte, 1974; Milleville, 1987).

modèle interprétation et représentation implicite (i) de la compréhension qu'une personne a d'une situation ou (ii) simplement des idées qu'elle se fait d'une situation à certaines fins. Il peut s'exprimer sous forme mathématique, de symboles ou de mots mais il est essentiellement une description d'entités et de relations entre elles. (Wilson, 1984 in Pearson & Ison, 1997).

modèle bio-économique modèle de l'exploitation agricole liant une représentation du système de décisions du fermier pour la gestion de ces ressources et une représentation des options de production actuelles ou alternatives, permettant, à partir des ressources disponibles, d'atteindre certains objectifs, à la fois en terme de rendement et d'empreinte écologique (Janssen & van Ittersum, 2007).

modèle d'action modèle théorique selon lequel l'agriculteur planifie certaines de ses actions, et ce d'autant plus facilement que les décisions à prendre présentent un caractère récurrent permettant un apprentissage et la conception de procédures de routine (Sebillotte & Soler, 1990).

paradigme ensemble de règles implicites ou explicites orientant la recherche scientifique, pour un certain temps, en fournissant, à partir de connaissances universellement reconnues, des façons de poser les problèmes, d'effectuer les recherches et de trouver des solutions (Gauthier, 1993, in d'Amboise, 2013).

Personal Constucts Psychology courant en science humaine qui considère la psychologie comme une science qui a pour but de tenter de mettre en ordre les faits des expériences humaines de sorte que le psychologue puisse faire de bonnes prédictions sur la manière dont les gens réagiront face à des situations nouvelles (Kelly, 1955).

pratiques ensemble des actions agricoles mises en œuvre dans l'utilisation du milieu (Blanc-Pamard & Milleville, 1985); activités élémentaires, ou manières de faire, réalisées dans une perspective de production, liées à l'opérateur et en particulier aux conditions dans lesquelles il exerce son métier (milieu naturel, système de production, situation familiale ... (Teissier, 1979 in Blanc-Pamard & Milleville, 1985); de l'ordre de l'action, s'enracinent dans un contexte particulier situé à la fois dans l'espace et dans le temps (Landais *et al.*, 1988).

- snowball sampling** méthode d'échantillonnage raisonnée élaborée en cours de collecte de données sur base d'informations collectées auprès des sources déjà interrogées (Goodman, 1961; Pires, 1997).
- système agraire** expression théorique d'un type d'agriculture historiquement constitué et géographiquement localisé, composé d'un écosystème cultivé caractéristique et d'un système social productif défini, celui-ci permettant d'exploiter durablement la fertilité de l'écosystème cultivé correspondant (Mazoyer & Roudart, 2002, p. 70).
- système de pratiques** combinaison particulière de pratiques, choix cohérent entre les possibilités d'exécution de différentes tâches (Cristofini *et al.*, 1978; Deffontaines & Raichon, 1981).
- système de production** mode de combinaison entre terre, forces et moyens de travail à des fins de production végétale et/ou animale, commun à un ensemble d'exploitations; caractérisé ici par la nature des productions, de la force de travail (qualification) et des moyens de travail mis en œuvre et par leurs proportions (Reboul, 1976 in Brossier, 1987).
- systèmes socio-écologiques** système cohérent d'écosystèmes et d'une communauté humaine interdépendants en interaction réciproques; s'inscrit dans la perspective 'humans-in-nature' (voir Berkes, 2004).
- techniques** ensemble ordonné d'opérations ayant une finalité de production; pouvant être décrites indépendamment de l'agriculteur ou de l'éleveur qui les met en œuvre (Teissier, 1979 in Blanc-Pamard & Milleville, 1985).
- Theory of Planned Behaviour** théorie en psychologie suggérant que le comportement des individus est le fruit d'une interaction complexe entre, d'une part, l'attitude des agents vis-à-vis de ce comportement et de ses conséquences et, d'autre part, divers traits de la personnalité (normes sociales, confiance dans ses capacités, obligation morale) (Ajzen, 1991).
- typologie de fonctionnement** méthode de classification des exploitations agricoles basée sur une vision systémique de l'exploitation agricole (Osty, 1978) pour les distinguer suivant des critères fonctionnels (pratiques, choix Landais, 1998; Perrot *et al.*, 1995).
- typologie de structure** méthode de classification des exploitations agricoles basée sur leurs caractéristiques structurelles: orientation technique et économique, taille et autres données quantitatives.

INDEX

- échantillonnage, 84
- équilibre
 - état d', 258
- action
 - modèle d', 20
- adaptabilité, 232
- application
 - comparative et typologique, **173**
 - méthode, 99–106
 - descriptive, **141**, 139–168
 - méthode, 97–99
 - prospective et évaluative, **309**
 - méthode, 257–268
- approche
 - holistico-inductive, 49
 - hypothético-déductive, 48
 - socio-anthropologique, 29–33
 - systémique, 17, 34–39
 - technique, 28
 - technique, 24
- Ardenne, 117
- cadre conceptuel, 84
 - étude de cas, 118
- capacité d'adaptation, 232, 256, 268
- carte cognitive
 - individuelle, 93–95
 - étude de cas, 135
 - sociale, 95–96, 104
 - étude de cas, 137
- cartographie cognitive, 59–78, 93–96
 - et les sciences de l'ingénieur, 70–72
 - et les sciences humaines, 67–70
 - et neurosciences, 66–67
 - et syst. socio-écologiques, 72
 - et systèmes socio-écologiques, 78
- classement
 - étude de cas, 136
- classement *a priori*, 100
- classification, 101
 - étude de cas, 136
- clustering, 101
- CMASOP, 79–112, 139–168
- codage, 87–93
 - étude de cas, 135
 - inductif, 89
 - thématique, 88
- cognitive mapping, 59–78
 - in rats, 1948, 62
 - of political elites, 1976, 62
- collecte des données
 - étude de cas, 134
- comparative
 - analyse, 104
 - étude de cas, 137
- conceptions, World views, 29–33
- constructivisme, 49
- critères de qualité, 106–111
 - confirmabilité, 108
 - crédibilité, 108
 - triangulation, 108
 - fiabilité, 106

- objectivité, 106
- sécurité de fonctionnement, 108
- transférabilité, 108
 - thick description, 108
- validité, 106
- cybernétique, 18
- décision
 - Systèmes d'aide à la, 28
 - systèmes d'aide à la, 24
- degré d'activation, 257
- données qualitatives
 - Traitement des, 93
 - traitement des, 87
- enquête
 - étude de cas, 117
- enquête qualitative, 83–87
- entretien
 - étude de cas, 134
 - compréhensif, 85
 - conduite des, 85
 - grille d', 85
 - semi-dirigés, 85
- Famenne, 117
- Farming styles, 220
- Farming Systems Research, 37, 38
- fonction de transformation, 262
- fonctionnement
 - indicateur, 20
- fuzzy cognitive mapping
 - méthode, 258
 - modèle fonctionnel, 258
- fuzzy logic, 70
- grounded theory, 31
 - et pratiques agricoles, 33
- guide de lecture, 7
- hypothèses de travail, 55
- itinéraire technique, 20
- Königsberg
 - les ponts de, 63
- méthode qualitative, 79–112
- matrice d'adjacence, 258
- micro-sociologie, 29
- modélisation
 - bio-économique, 24–28
 - Soft Systems Modelling, 37
- modèle fonctionnel
 - étude de cas, 270
- neural network, 70
- objectif
 - général de la recherche, 54
 - opérationnels, 54
- paradigme
 - constructiviste, 49
 - positiviste, 48
- Personal Constucts Psychology, 35
- positivisme, 48
- postulats, 54
- pragmatisme, 49
- pratiques, 17–21, 39
 - & système agraire, 21
 - complexité, 39
 - diversité, 39
 - systèmes de, 19, 20
- pratiques adaptatives, 225–256
- production
 - systèmes de, 20
- profil culturel, 18
- psychologie, 35
- réductionnisme, 24
- résilience, 232
 - des syst. socio-écologiques, 228
 - en écologie, 228
- resilience, 276
- retranscription
 - étude de cas, 134
- scénario, 266
- similarité
 - mesure, 101
- simulation, 266
- sol, 18

- systemique
 - approche, 17, 34–39
- systeme socio-ecologique, 231
- systemes agraires, 75
- systemes socio-ecologiques, 73

- techniques, 19
- theorie de l'information, 18
- theorie des graphes, 64
- theorie generale des systemes, 18
- these, 55
- Theory of Planned Behaviour, 35
- typologie
 - de fonctionnement, 20
 - de structure, 20

- vecteur d'etat, 258

- Zone d'etude, 117

TABLE DES MATIÈRES

Liste des figures	xi
Liste des tables	xiii
Communications scientifiques	xiv
Acronymes	xix

·/·

1	Les pratiques dans la gestion des systèmes socio-écologiques	3
2	La problématique générale	15
2.1	L'étude des pratiques paysannes	17
2.1.1	Le sol, porte d'entrée pour l'étude des pratiques	18
2.1.2	Les pratiques, indicateurs de fonctionnement	20
2.1.3	Les pratiques et conceptualisation de la réalité agraire	21
2.2	Les approches scientifiques qui intègrent les pratiques	24
2.2.1	Les approches techniques	24
2.2.2	Les approches socio-anthropologiques	29
	a La démarche de J.-P. Darré	29
	b Des études se référant à la <i>grounded theory</i>	31
2.2.3	Les approches systémiques	34
	a Généralités	35
	b Des références à la psychologie	35
	c La Farming Systems Research	37
2.3	Quelle approche pour l'étude des pratiques paysannes ?	39
3	Synthèse épistémologique & Cadre d'analyse	45
3.1	Synthèse épistémologique	47
3.1.1	Le paradigme positiviste	48
3.1.2	Le paradigme constructiviste	49
3.1.3	Le paradigme pragmatiste	49
	a Une méthode ancrée dans l'expérience	50
	b Une connaissance provisoirement définitive	51
	c Une vérité relative	51
	d Une réalité continue, à solutions partielles et faillible	52
3.1.4	La position adoptée pour notre travail	53
3.2	Les deux postulats	54
3.3	Les objectifs de la recherche	54
3.3.1	Objectif général	54
3.3.2	Objectifs opérationnels	54
3.4	Les trois hypothèses	55
3.5	La thèse	55
4	La cartographie cognitive	59

4.1	Deux courants de la cartographie cognitive	62
4.2	En neurosciences	66
4.3	En sciences humaines	67
4.4	En sciences de l'ingénieur	70
4.5	L'étude des systèmes socio-écologiques	72
5	Mode opératoire de l'approche	79
5.1	Le cœur de la méthode	83
5.1.1	La récolte des données	83
a	L'échantillonnage	84
b	La grille d'entretien	85
c	La conduite des entretiens	85
d	La retranscription des entretiens	86
5.1.2	Le codage du matériau	87
a	Le codage thématique des entretiens	88
b	Le codage inductif des entretiens	89
5.1.3	La génération des Cartes Cognitives Individuelles	93
5.1.4	La génération des Cartes Cognitives Sociales	95
5.2	Développement des aspects descriptifs de la méthode	97
5.2.1	Analyse graphique	98
5.2.2	Analyse mathématique	98
5.2.3	Analyse des entretiens	98
5.3	Développement des aspects analytiques de la méthode	99
5.3.1	Le classement <i>a priori</i>	100
5.3.2	La classification <i>a posteriori</i>	101
a	La mesure de la similarité	101
b	Le 'clustering'	103
5.3.3	Le Social Mapping	104
5.3.4	L'analyse comparative	104
5.4	Critères de qualité & véracité de l'approche	106
5.4.1	Critères de qualité en recherche quantitative	106
5.4.2	Critères de qualité en recherches qualitatives	107
a	La crédibilité	108
b	La transférabilité	109
c	La fiabilité (<i>dependability</i>)	109
d	La confirmabilité	110

5.4.3 Application des critères de qualité 111

6	Étude de cas : la gestion des prairies	115
6.1	Présentation générale	117
6.1.1	La zone d'étude	117
6.1.2	Cadre conceptuel et grille d'entretien	118
6.1.3	Concepts, définitions et terminologie	120
6.2	Description du fonctionnement des exploitations	122
6.2.1	La conduite du troupeau	123
a	La gestion de la production	123
b	La gestion de la reproduction	124
c	La gestion de l'alimentation	125
6.2.2	La gestions des parcelles	126
6.2.3	Assolement et production	126
a	Les gestions des fauches et des récoltes de fourrages	127
b	La gestion du pâturage	128
c	La gestion de la fertilité des prairies	129
6.3	Description de la structure des exploitations	130
6.3.1	Orientations techniques	130
6.3.2	Unité de main-d'œuvre	131
6.3.3	Cheptel	131
a	Exploitations viandeuses	131
b	Exploitations mixtes	132
c	Exploitations laitières	132
6.3.4	Superficies	132
a	Superficie agricole utile (SAU)	132
b	Surface non fourragère	133
c	Surface enherbée et cultures fourragères	133
6.3.5	Le chargement à l'hectare	134
6.4	L'application de la méthode	134
6.4.1	La récolte des données, l'enquête (Étape 1)	134
6.4.2	Le codage du matériau	135
6.4.3	La génération des Cartes Cognitives Individuelles	135
6.4.4	Le partitionnement de l'échantillon	136
a	Le classement <i>a priori</i>	136
b	La classification <i>a posteriori</i>	136
6.4.5	La génération des Cartes Cognitives Sociales	137

6.4.6	L'analyse comparative	137
7	Application descriptive et inductive	139
7.1	Introduction	141
7.2	CMASOP approach	146
7.2.1	Step 1 – data collection	146
7.2.2	Step 2 – coding	147
7.2.3	Step 3 – individual cognitive mapping	148
7.2.4	Step 4 – social cognitive mapping	149
7.3	Case study : grass forage management	150
7.3.1	Materials : data collection (step 1)	151
7.3.2	Results	151
	a Coding (step 2)	151
	b Individual cognitive mapping (step 3)	154
	c Social cognitive mapping (step 4)	154
7.4	Discussion	162
7.4.1	Properties and limits of cognitive mapping	162
7.4.2	Originalities, strengths and weaknesses of CMASOP	163
	a Coding-based cognitive mapping	163
	b More than causal relationships	165
	c Exploring the diversity of a relationship	166
	d Exploring a wider diversity	167
7.4.3	Potential uses and perspectives of CMASOP	167
7.5	Conclusion	168
8	Application comparative et typologique	171
8.1	Introduction	173
8.2	Material and methods	176
8.2.1	Step 3' : Partitioning the ICMs	177
	a Categorization	177
	b Clustering	177
8.2.2	Step 4 : Generating SCMs	179
8.2.3	Step 5 : Comparative analysis	179
	a Relationship weight	179
	b Variables' indegree, outdegree and centrality	180
	c Outputs of the comparative analysis	180

8.2.4	Comparison with another FCM clustering method	180
8.3	Results	181
8.3.1	Comparison based on categorized systems of practices	181
a	Categorization based on agroecological area	181
b	Categorization based on technical factors	183
c	Comparison of results from categorization	185
8.3.2	Comparison of clustered systems of practice	189
a	Clustered according to relationships	189
b	Clustered according to variables	191
8.4	Discussion	194
8.5	Conclusion	197
9	Discussion générale	201
9.1	Critique générale de l'approche méthodologique développée	201
9.1.1	Critères de qualité	202
a	Crédibilité	202
b	Transférabilité	203
c	Fiabilité (<i>dependability</i>)	203
d	Confirmabilité	204
9.1.2	Utilisations pratiques	204
a	L'intégration des savoirs locaux	204
b	Une typologie des agents basée sur leurs pratiques	205
9.1.3	Limites de l'approche développée	206
a	Temps	206
b	Aspects dynamiques	207
9.1.4	Perspectives : l'étude de l'adaptabilité et de la résilience	207
9.2	Modéliser les pratiques	209
9.2.1	Introduction	209
9.2.2	Discussion	211
a	Modéliser de manière inductive	211
b	Rendre compte de la complexité des pratiques	212
c	Modéliser semi-qualitativement	213
d	Rendre procédurale la construction de modèles	214
9.2.3	Ancrage	214
9.2.4	Perspectives	215
9.3	Caractériser la diversité des pratiques	216

- 9.3.1 Introduction 216
- 9.3.2 Discussion 216
 - a Objectiver certaines intuitions qualitatives 217
 - b Automatiser l’exploration de données 217
 - c Classifier à partir des relations des cartes cognitives 218
- 9.3.3 Ancrage 220
- 9.3.4 Perspectives 220
- 9.4 Caractériser les capacités d’adaptation 222
 - 9.4.1 Introduction 222
 - 9.4.2 Discussion 223

10 Approches exploratoires & Perspectives 225

- 10.1 Synthèse des concepts de la théorie de la résilience 228
 - 10.1.1 La résilience en écologie 228
 - 10.1.2 La résilience des systèmes socio-écologiques 231
 - a Système socio-écologique 231
 - b La résilience 232
 - c La capacité d’adaptation 232
- 10.2 Évaluation des capacités d’adaptation des agents 233
 - 10.2.1 Matériels et Méthodes 233
 - a Cas d’étude 233
 - b La constitution de l’échantillon 233
 - c La conduite des entretiens 235
 - d Le codage du matériau 236
 - e La génération des cartes cognitives 236
 - 10.2.2 La structure du modèle des capacités d’adaptation 238
 - a Résilience ‘de quoi ?’, ‘à quoi ?’ 238
 - b Les concepts évoqués et leurs relations 239
 - c Le modèle des capacités d’adaptation des éleveurs 242
 - 10.2.3 Analyse systémique des capacités d’adaptation 249
 - a *via* la résilience physiologique des animaux 250
 - b *via* la résilience économique de la ferme 251
 - c *via* la résilience écologique des prairies 252
 - 10.2.4 Discussion 254
 - 10.2.5 Perspectives 256
- 10.3 Évaluation de la résilience des systèmes socio-écologiques 257

10.3.1	Aspects méthodologiques	257
a	Le modèle fonctionnel du Fuzzy Cognitive Mapping	258
b	L'évaluation de l'état d'activation d'un concept . . .	258
c	L'évaluation de l'état d'activation des concepts . . .	261
d	La fonction de transformation	262
e	Le calcul itératif et l'équilibre dynamique du système	264
f	La simulation de scénarios	266
g	La comparaison des systèmes de pratiques	268
10.3.2	L'application du modèle fonctionnel	270
10.3.3	Discussion	270
a	La constitution des cartes synthétiques	271
b	La valeur du degré d'activation initial des variables .	272
c	Les boucles de rétroaction	272
d	Un système dynamique – finalement – peu évolutif .	272
10.3.4	Perspectives	273
a	Une création des cartes <i>in situ</i> par les agents	273
b	Évaluation des capacités d'adaptation avec les agents	274
c	Évaluation de la résilience des systèmes	275

11 Conclusion générale **279**

A	Grille d'entretien	287
B	Codes thématiques	291
C	Données quantitatives & Tables statistiques	293
D	Formules des indicateurs de la théorie des graphes	301
E	Classification des cartes sur base de leurs propriétés structurelles	305
F	Application dynamique et prospective	307
	F.1 Introduction	309
	F.2 Materials and Methods	311
	F.3 Results	316
	F.4 Discussion and conclusion	317
	Bibliographie	323
	Glossaire	347
	Index	351
	Table des matières	355

