



HAL
open science

**De l'analyse des pratiques gestionnaires à l'aide à la
conception de systèmes de production agricole.
Contribution à une agronomie de l'exploitation agricole
et des territoires**

Pierre-Yves Le Gal

► **To cite this version:**

Pierre-Yves Le Gal. De l'analyse des pratiques gestionnaires à l'aide à la conception de systèmes de production agricole. Contribution à une agronomie de l'exploitation agricole et des territoires. Agronomie. Université Montpellier II - Sciences et Techniques du Languedoc, 2012. tel-00660706

HAL Id: tel-00660706

<https://theses.hal.science/tel-00660706>

Submitted on 17 Jan 2012

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université de Montpellier

Ecole doctorale
Systèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosociences,
Environnement (SIBAGHE)

Mémoire présenté en vue d'obtenir
L'Habilitation à Diriger des Recherches

De l'analyse des pratiques gestionnaires à l'aide à la conception de systèmes de production agricole

Contribution à une agronomie de l'exploitation agricole et des
territoires

Pierre-Yves Le Gal

Chercheur au Cirad
(Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le
développement)

Soutenance le 13 janvier 2012 devant la commission d'examen composée de :

Dr. Benoît Dedieu, Inra, Clermont-Ferrand, examinateur
Dr. Michel Duru, Inra, Toulouse, rapporteur
Dr. Patrice Garin, Cemagref, Montpellier, examinateur
Pr. Marianne Le Bail, AgroParisTech, Paris, rapporteur
Pr. Jacques Wery, SupAgro, Montpellier, rapporteur

Tome 1



Lac Alaotra, Madagascar



Défilé du fleuve, Sénégal



Vallée du Mantaro, Pérou



Cerrados, Brésil

*A la mémoire de Marie Anne Le Gal, ma grand-mère bretonne,
dont la vie fut si proche de celles des paysans africains
et sud-américains rencontrés pendant ces trente ans.*

Remerciements

Avec une thèse soutenue à 39 ans et une HDR à 55 ans, je suis un chercheur qu'on pourrait qualifier de tardif, ce qui n'est pas pour me déplaire dans un monde où urgence et vitesse font office de mode de vie. Ces trente années de carrière se sont accompagnées de nombreuses rencontres qui ont contribué à façonner mon expérience d'agronome et les bases de ce document. La première fut celle de Michel Sebillotte et de son équipe, à la chaire d'agronomie de l'INA-PG où j'obtins mon diplôme en 1979. Là j'ai appréhendé la complexité de l'objet 'exploitation agricole', déjà source de mon intérêt, et appris l'existence de clés pour comprendre et agir sur son fonctionnement. L'exigence de Michel Sebillotte m'a également révélé mes capacités de persévérance, utiles pour aller au bout de certains articles à l'accouchement difficile, comme de mes huit marathons courus à ce jour ! Cette HDR est donc une forme d'hommage à sa mémoire, et de reconnaissance à ce qu'il m'a apporté.

Dans les affectations successives qui ont suivi ma sortie de l'Agro, j'ai eu la chance de rencontrer diverses personnalités qui m'ont aidé à enrichir mes compétences et orienter mes travaux, ce dont je les remercie chaleureusement. Jacques Brossier m'a initié aux interfaces entre agronomie et économie lors de mon VSNA au Mali, avec mes premières enquêtes d'exploitations agricoles en milieu tropical. Philippe Jouve m'a fait découvrir la recherche-développement lors de mon séjour au Niger, aussitôt mise en pratique avec mon ami Joseph Ogier, trop tôt disparu. Philippe est également à l'origine de mon entrée au Cirad en 1986, sans laquelle ma carrière aurait pris un tour plus métropolitain et moins scientifique. Mamadou Ndiaye m'a tout appris de la riziculture irriguée pendant mon séjour au Sénégal. Dans le même temps François Papy acceptait, avec sa gentillesse et son optimisme légendaires, de diriger ma thèse qui allait m'ouvrir à la gestion collective des ressources productives. Cette thèse fut également l'occasion de rencontrer Louis-Georges Soler, avec qui j'allais étudier par la suite les bassins d'approvisionnement sucriers de La Réunion, de Maurice et d'Afrique du Sud. Cette expérience partagée fut l'occasion de découvrir l'univers de la gestion, la recherche-intervention, la modélisation tournée vers l'aide à la décision, et le monde agricole vu par les agro-industriels. Mes travaux actuels sur l'accompagnement des exploitations agricoles doivent beaucoup à ce compagnonnage. Parallèlement Michel Passouant m'initiait aux arcanes des systèmes d'information, bases de données et autres délices informatiques, au cours de travaux à l'Office du Niger.

Mes deux années passées à L'Université du Natal en Afrique du Sud ont constitué un tournant, en me plongeant dans le monde universitaire 'anglo-saxon' et en m'amenant à travailler en anglais. Merci à Jean Pichot pour m'avoir soutenu dans ce projet, à Frits Rijkenberg pour m'avoir accueilli à Pietermaritzburg, à Peter Lyne et Eddie Meyer pour m'avoir ouvert les portes des sucreries sud-africaines, et m'avoir fait confiance quand je les entraînaient dans des voies qui pouvaient leur paraître hasardeuses. Plus récemment, je dois à la capacité de publication de Taher Sraïri et Marcel Kuper l'accélération de ce dossier d'HDR, qui sans eux aurait pu prendre encore du temps ! Merci enfin à tous mes collègues chercheurs et enseignants-chercheurs français et étrangers, à tous les étudiants ingénieurs et

à mes quelques doctorants (particulièrement Erwin de Nys, avec qui nous lançons de nouvelles activités dans le cadre de ses fonctions à la Banque Mondiale) pour m'avoir fait progresser à travers nos nombreuses discussions, sur le terrain, en salle, et autour de boissons et repas divers !

Une HDR suit un cheminement unique, qui nécessite un guide. Je remercie Jacques Wery pour avoir bien voulu remplir ce rôle. Ses remarques avisées ont largement contribué à l'amélioration de ce texte. Merci également aux rapporteurs et membres du jury pour avoir bien voulu consacré une part de leur temps à ce document et aux discussions qu'il suscitera lors de sa soutenance.

Tous les Ciradien(ne)s qui se sont un jour expatriés savent qu'un séjour 'outre-mer' est autant une aventure familiale que professionnelle. Merci à Sally pour m'avoir accompagné dans ces tribulations, au détriment parfois de sa propre carrière, et à Laura, Chloé et Alice pour avoir accepté à l'adolescence de reprendre l'aventure, après avoir connu le soleil de St Louis dans leurs premières années. Cette HDR est aussi là pour qu'elles sachent (enfin) ce que j'ai bien pu faire pendant toutes ces années, particulièrement pour Alice qui reprend le flambeau agronomique avec des challenges stimulants mais pleins d'incertitudes.

Je terminerai en remerciant tous les paysans, responsables d'organisations de producteurs, industriels, conseillers agricoles, rencontrés tout au long de ma carrière. Outre des connaissances professionnelles, j'ai retiré de nos échanges une multiplicité de regards sur la diversité du monde qui représentent le plus passionnant et le plus précieux capital de mon métier d'agronome.

Sommaire

1^{ère} Partie : Dossier scientifique	1
1. Curriculum Vitae	1
2. Liste des travaux	3
2.1. <i>Articles à revue à comité de lecture (ACL) avec facteur d'impact 2009 > 0,50</i>	3
2.2. <i>Articles à revue à comité de lecture (ACL) avec facteur d'impact 2009 < 0,50</i>	4
2.3. <i>Articles à revue à comité de lecture (ACL) soumis</i>	5
2.4. <i>Articles à revue à comité de lecture sans facteur d'impact (ACLN)</i>	5
2.5. <i>Ouvrages scientifiques ou chapitres de ces ouvrages (OS)</i>	6
3. Travaux encadrés	7
3.1. <i>Thèses de doctorat (DOC)</i>	7
3.2. <i>Mémoires de fin d'études d'ingénieur (ING)</i>	8
3.3. <i>Mémoires de DESS, DEA et Master (MAS)</i>	10
3.4. <i>Stages niveau M1</i>	11
2^{nde} Partie : Synthèse des travaux	12
Chapitre 1. Questions et démarches générales de recherche	12
1. Problématique générale	12
2. Terrains d'intervention	13
3. Démarches générales de recherche	14
Chapitre 2. Analyser les processus de gestion des systèmes de production aux échelles individuelles et collectives	19
1. Des pratiques culturelles aux processus de gestion des exploitations agricoles	19
1.1. <i>Concepts</i>	19
1.2. <i>Méthodes de recherche</i>	23
1.3. <i>Un exemple : l'analyse de la dynamique d'exploitations laitières au Brésil</i>	26
2. Coordinations entre acteurs pour la gestion collective des systèmes de production	29
2.1. <i>Emprunts conceptuels</i>	29
2.2. <i>Gestion collective d'un système de double riziculture annuelle</i>	31
2.3. <i>Cadre de représentation de la gestion des périmètres irrigués collectifs</i>	34
2.4. <i>Analyse de la gestion d'un bassin d'approvisionnement sucrier</i>	36
2.5. <i>Vers un cadre d'analyse combinant périmètre irrigué et chaînes d'approvisionnement</i>	41
3. Enseignements pour l'agronome de l'exploitation et du territoire	43

Chapitre 3. De l'analyse à l'accompagnement des acteurs : le rôle de la modélisation	44
1. Otelo ou la découverte de la modélisation pour l'aide à la réflexion prospective	44
2. Modéliser la gestion collective des flux de ressources pour aider à la coordination	45
2.1. Bases conceptuelles	45
2.2. Application à l'approvisionnement de sucreries de canne	46
3. Modéliser pour aider à la conception des systèmes de production dans les exploitations laitières et de polyculture-élevage	51
3.1. Etat de l'art	51
3.2. Principes de la démarche	53
3.3. Application à des exploitations laitières au Maroc	54
3.4. Evolutions en cours	56
4. Evaluation des démarches et modèles mis en œuvre	57
4.1. Validation fonctionnelle	57
4.2. Validation de répétitivité	58
4.3. Validation par confrontation	59
Chapitre 4. Articulations avec les recherches biotechniques	60
1. Exploration de nouvelles questions biotechniques	60
2. Quelles références biotechniques pour les modèles « exploitations agricoles » ?	60
3^{ème} Partie : Projet de recherche	62
1. Un cadre général d'organisation des recherches	62
2. Aide à la conception de systèmes de production agricole innovants	63
2.1. Modélisations à l'échelle de l'exploitation agricole	64
2.2. Expérimenter la démarche d'accompagnement des acteurs	64
2.3. Articuler démarche expérimentale d'accompagnement des acteurs et dispositifs de conseil	65
3. Quelles références biotechniques pour quels outils d'aide à la conception ?	66
4. Intégrer les échelles exploitation agricole et bassin d'approvisionnement	66
4.1. Impacts de l'environnement des exploitations agricoles sur les décisions des producteurs	66
4.2. Aider à la conception de nouvelles formes de coordination au sein des bassins d'approvisionnement	67
5. Participer à des projets pluri-échelles et transdisciplinaires	68
Conclusions	70

Liste des figures

Figure 1 Positionnement de mes différents travaux analytiques durant ma carrière	15
Figure 2 Positionnement de mes travaux liés à l'aide au changement durant ma carrière	16
Figure 3. Positionnement de la recherche intervention	18
Figure 4. Positionnement du concept de pratique par rapport aux entités de gestion et à son utilisation par les agronomes.....	20
Figure 5. Représentation schématique de l'exploitation agricole en termes de processus de coordinations.....	22
Figure 6. Représentation schématique d'un système de production agricole en trois sous-systèmes en interaction	23
Figure 7 : Trajectoires des six exploitations laitières étudiées dans le Municipipe d'Unai (Brésil)	27
Figure 8 : Relations entre le coût de production par litre de lait et la marge brute par vache sur les six exploitations laitières étudiées dans le municipale d'Unai (Brésil).....	28
Figure 9. Processus de collecte et d'analyse des données concernant l'étude de la gestion collective de l'organisation du travail au Sénégal	32
Figure 10. Evolution du taux de double culture à Boundoum et Thiagar (1991-2000) Les taux supérieurs à 100% indiquent qu'une partie des parcelles ont été cultivée deux fois en riz durant l'année n. Les taux inférieurs à 100% indiquent que certaines parcelles n'ont pas été du tout cultivées durant l'année n (source : OS 6).....	33
Figure 11. Calendrier de travail en double culture à Ndiethene en 1992	33
Figure 12. Cadre de représentation du fonctionnement d'un périmètre irrigué collectif	35
Figure 13. Exemple schématique de courbe de qualité de la canne à sucre et de calage d'une campagne de récolte	37
Figure 14. Enchaînement des opérations logistiques depuis la parcelle jusqu'à la sucrerie	37
Figure 15. Représentation schématique d'un profil idéal de livraison de cannes à l'usine	38
Figure 16. Rôle des différents acteurs dans la conduite de l'itinéraire technique canne à sucre	40
Figure 17. Exemple d'un cadre général d'analyse et d'interventions basé sur le concept de <i>supply chain</i> (bassin d'approvisionnement laitier du Tadla – Maroc)	41
Figure 18. Représentation conceptuelle des liens entre périmètre irrigué et bassins d'approvisionnement agro-alimentaires	42
Figure 19. Modèle conceptuel de l'approvisionnement d'une sucrerie de canne	47
Figure 20. Cartographie des Unités de Production considérées dans la modélisation du bassin d'approvisionnement de Sezela	48
Figure 21. Courbes de qualité hebdomadaire de la canne à sucre par zone sur le bassin de Sezela (2000-2003).....	49
Figure 22. Scénarios d'organisation des plans de livraisons de canne à Sezela	49
Figure 23. Gains simulés d'équivalent-sucre par scénario d'approvisionnement à Sezela	50
Figure 24. Modèle conceptuel de fonctionnement d'une exploitation laitière basé sur les relations offre-demande en ressources.....	54
Figure 25. Résultats de scénarios comparant deux systèmes fourragers sur une exploitation laitière du périmètre du Tadla (Maroc)	55
Figure 26. Filiation des différentes applications développées sur les exploitations laitières et de polyculture-élevage	57
Figure 27. Organisation des interactions entre chercheurs, producteurs et conseillers agricoles pour améliorer la conception et la mise en œuvre de systèmes de production innovants à l'échelle de l'exploitation agricole.....	63
Figure 28. Positionnement disciplinaire des recherches sur la gestion des systèmes de production agricole.....	69

Liste des tableaux

Tableau 1. Nature des projets de recherche et applications développées (en italique) en fonction du pays et du type d'exploitation	53
Tableau 2. Caractéristiques d'une exploitation agricole et des scénarios simulés par Dalib sur le périmètre irrigué du Tadla	55
Tableau 3. Analyse de sensibilité du modèle Cikeda	58
Tableau 4. Comparaison des valeurs mesurées et simulées de quelques variables de sortie du modèle Cikeda	59
Tableau 5. Relations entre problèmes, solutions et cas d'étude liés à l'utilisation de références agronomiques dans les outils d'aide à la décision	61

Liste des encadrés

Encadré 1. Principaux résultats de l'état de l'art sur les démarches de conception de systèmes de production agricole	52
Encadré 2. Thèse démarrée en 2010 sur la modélisation des exploitations agricoles.....	65
Encadré 3. Thèse financée sur la gestion de la qualité dans un bassin de collecte laitier au Pérou	68

1^{ère} Partie : Dossier scientifique

1. Curriculum Vitae

Pierre-Yves Le Gal : chercheur au CIRAD, UMR Innovation, 73 Avenue Jean-François Breton,
TA 60 / 15, 34398 Montpellier Cedex 1

Né le 21 octobre 1956, 54 ans, marié, 3 enfants

Formation

1979 : Diplôme d'Agronomie Approfondie, Institut National Agronomique, Paris

1995 : Doctorat en sciences agronomiques, Institut National Agronomique, Paris

Cursus professionnel

1980-1982 *Institut d'économie rurale, Ministère de la coopération française
Bamako (Mali)*

Assistant technique à la Division Planification et Evaluation de l'Institut d'économie rurale, Bamako

Etudes sur les systèmes de production agricole (enquêtes agro-économiques sur les exploitations agricoles ; analyse des pratiques culturelles)

1983-1986 *Satec
Maradi (Niger)*

Responsable de l'Unité de suivi-évaluation du Projet de développement rural de Maradi

Etudes sur les systèmes de production agricole (enquêtes agro-économiques sur les exploitations agricoles ; analyse des pratiques culturelles) ; Participation à un programme de recherche-développement sur l'amélioration des systèmes de production agricole

1986-1987 *Cirad – Département Systèmes Agraires
Montpellier*

Chercheur

Préparation de mon affectation au Sénégal

1987-1993 *Institut sénégalais de recherche agricole (Isra)
Saint-Louis (Sénégal)*

Agronome affecté à l'équipe « Système de production » sur le delta du fleuve Sénégal

Travaux de recherche sur la gestion des systèmes de production irrigués (organisation du travail, double culture) et l'analyse des processus de décision des agriculteurs

1994-2001 *Cirad – Département Sar puis Tera
Montpellier*

Chercheur

Rédaction thèse ; Coordination d'un projet de recherche sur la gestion des périmètres irrigués (Brésil, Mali et Sénégal) ; Participation à un projet de recherche sur la gestion des bassins d'approvisionnement sucriers (La Réunion, Maurice)

- 2001-2003** **University of Natal**
Pietermaritzburg (Afrique du Sud)
 Honorary Associate Professor, Faculty of Science and Agriculture
 Mise en œuvre d'actions de recherche sur la gestion des bassins d'approvisionnement sucriers et la gestion de petits périmètres irrigués ; Montage de collaborations scientifiques entre le Cirad et des partenaires sud-africains
- 2003-2006** **Cirad – Département Tera**
Montpellier
 Chercheur
 Coordination de projets de recherche sur la gestion des bassins d'approvisionnement dans les filières agro-industrielles (canne à sucre, lait, palmier-dattier) ; Participation à des recherches sur les systèmes d'information dans les périmètres irrigués (Mali) ;
- 2007-2010** **Cirad – Département ES – Umr Innovation**
Montpellier
 Chercheur
 Participation à des recherches sur l'aide à la conception de systèmes de production innovants dans des exploitations de polyculture-élevage (Burkina-Faso, Madagascar) et des exploitations laitières (Maroc, Brésil, Pérou) ; Coordinateur de tâche dans le projet ANR Pépites (Processus Ecologiques et Processus d'Innovation Technique Et Sociale en agriculture de conservation) ;

Activités d'enseignement

- 1994-2001** Participation aux parcours de spécialisation AGIR et GSE du Master DAT au Cnearc (cours et TD sur l'organisation du travail dans les exploitations agricoles et la gestion des périmètres irrigués collectifs)
- 2001-2003** Participation à des formations de niveau Master sur la gestion des périmètres irrigués (Food Security Program ; MBA Water Management) à University of Natal
- 2004-2010** Chargé de cours consultant à Montpellier SupAgro. Responsable du module « Maîtrise de la qualité et gestion des bassins d'approvisionnement » au sein du parcours de spécialisation AGIR du Master DAT (Cnearc puis Irc) (cours, TD et TP sur deux semaines)

Activités de referee

Cinq articles dans Agriculture and Sustainable Development, Computers and Electronics in Agriculture, Cahiers Agriculture
 Deux projets de recherche de la National Research Foundation (Afrique du Sud) (2008 et 2010)
 Participation à une évaluation d'unités de recherche Inra (2005), à un jury de concours Inra (2006) et à une commission d'évaluation individuelle Cirad (2010)

2. Liste des travaux

J'ai classé l'ensemble de mes publications (hors communications à colloques et rapports d'étude) depuis le début de ma carrière en utilisant la nomenclature de l'Aeres. Pendant mes vingt premières années de travail, ma production s'est essentiellement traduite sous la forme de chapitres d'ouvrage, de communications et rapports d'étude. Ma proportion d'articles à revue a augmenté à partir de 2000, avec **une focalisation sur les revues internationales anglophones avec facteur d'impact (ACL) depuis 2006**. Cette évolution s'est faite en lien avec les étudiants que j'ai encadrés, dont les noms sont soulignés dans les références. J'ai poursuivi en parallèle une activité de publications dans *Cahiers Agriculture*, pour sa visibilité dans le monde francophone.

2.1. Articles à revue à comité de lecture (ACL) avec facteur d'impact 2009 > 0,50

ACL 1. Dingkuhn M., **Le Gal P.-Y.**, 1996. Effect of drainage date on yield and dry matter partitioning in irrigated rice. *Field Crops Research*, 46(1-3): 117-126.

(FI 2009 : 2,336)

ACL 2. **Le Gal P.-Y.**, Papy F., 1998. Co-ordination processes in a collectively managed cropping system: double cropping of irrigated rice in Senegal. *Agricultural Systems*, 57 (2): 135-159.

(FI 2009 : 2,110)

ACL 3. De Nys, E., Raes, D., **Le Gal P.-Y.**, Cordeiro, G., Speelman, S., Vandersypen, K. 2005. Predicting soil salinity under various strategies in irrigation systems. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-ASCE*, 131(4): 351 - 357.

[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(2005\)131:4\(351\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(2005)131:4(351))

(FI 2009 : 1,294)

ACL 4. **Le Gal P.-Y.**, Lyne P.W.L., Meyer E., Soler L.-G., 2008. Impact of sugarcane supply scheduling on mill sugar production: a South African case study. *Agricultural Systems*, 96(1-3): 64-74.

<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.agry.2007.05.006>

(FI 2009 : 2,110)

ACL 5. De Nys E., **Le Gal P.-Y.**, Raes D., Ana E., 2008. WaDI (Water Delivery for Irrigation): a simulation tool to address strategic interaction of water demand and supply in irrigation schemes. *Agricultural Water Management*, 95(3): 224-232.

<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.agwat.2007.10.005>

(FI 2009 : 2,016)

ACL 6. Lejars C., **Le Gal P.-Y.**, Auzoux S., 2008. A decision support approach for cane supply management within a sugar mill area. *Computers and Electronics in Agriculture*, 60(2): 239-249.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2007.08.008>

(FI 2009 : 1,312)

ACL 7. Sraïri M.T., Benhouda H., Kuper M., **Le Gal P.-Y.**, 2009. Effect of cattle management practices on raw milk quality on farms operating in a two-stage dairy chain. *Tropical Animal Health Production*, 41(2): 259-272.

<http://dx.doi.org/10.1007/s11250-008-9183-9>

(FI 2009 : 0,950)

ACL 8. **Le Gal P.-Y.**, Kuper M., Moulin C.-H., Sraïri M.T., Rhouma A., 2009. Linking water saving and productivity to agro-food supply chains: a synthesis from two north-African cases. *Irrigation and Drainage*, 58(S3): 320-333.

<http://dx.doi.org/10.1002/ird.530>

(FI 2009 : 1,108)

ACL 9. Sraïri M.T., Rjafallah M., Kuper M., **Le Gal P.-Y.**, 2009. Water productivity through dual purpose (milk and meat) herds in the Tadla irrigation scheme. *Irrigation and Drainage*, 58(S3): 334-345.

<http://dx.doi.org/10.1002/ird.531>

(FI 2009 : 1,108)

ACL 10. **Le Gal P.-Y.**, Le Masson J., Bezuidenhout C.N., Lagrange L.F., 2009. Coupled modelling of sugarcane supply planning and logistics as a management tool. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68(2): 168-177.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2009.05.006>

(FI 2009 : 1,312)

ACL 11. **Le Gal P.-Y.**, Merot A., Moulin C.-H. Navarrete M., Wery J., 2010. A modelling framework to support farmers in designing agricultural production systems. *Environmental Modelling & Software*, 25 (2): 258–268.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.12.013>

(FI 2009 : 3,085)

ACL 12. Passouant M., **Le Gal P.-Y.**, Keita B., 2010. The contribution of information systems in maintaining large scale irrigation schemes. *Irrigation and Drainage*, 59 (3): 241–253.

<http://dx.doi.org/10.1002/ird.469>

(FI 2009 : 1,108)

ACL 13. Sraïri M.T., Eljaouhari M., Saydi A., Kuper M., **Le Gal P.-Y.**, 2011. Supporting small-scale dairy farmers in increasing milk production: evidence from Morocco. *Tropical Animal Health Production*, 43 : 41-49.

<http://dx.doi.org/10.1007/s11250-010-9652-9>

(FI 2009 : 0,950)

ACL 14. Bernard J., **Le Gal P.-Y.**, Triomphe B., Hostiou N., Moulin C.-H., 2011. Involvement of small-scale dairy farms in an industrial supply chain: when production standards meet farm diversity. *Animal*, 5(6) : 961–971.

<http://dx.doi.org/10.1017/S1751731110002478>

(FI 2009 : 1,461)

2.2. Articles à revue à comité de lecture (ACL) avec facteur d'impact 2009 < 0,50

ACL 15. **Le Gal P.-Y.**, Lejars C., Lyne P.W.L., Meyer E., 2004. De la diversité spatiale aux performances des bassins d'approvisionnement : cas des sucreries de canne. *Cahiers Agriculture*, 13(6) : 554-562.

http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/agr/e-docs/00/04/0D/5C/article.phtml

(FI 2009 : 0,173)

ACL 16. De Nys E., Ducrot R., **Le Gal P.-Y.**, Rocha-Barros E., Mouco C.A.P., Chohin-Kuper A., 2005. Une démarche de conseil pour améliorer la gestion stratégique des périmètres irrigués collectifs du Nordeste (Brésil). *Cahiers Agriculture*, 14(1) : 138-143.

http://www.john-libbey-eurotext.fr/fr/revues/agro_biotech/agr/e-docs/00/04/0D/7B/article.phtml

(FI 2009 : 0,173)

ACL 17. **Le Gal P.-Y.**, Kuper M., Moulin C.-H., Puillet L., Sraïri M.T., 2007. Dispositifs de coordination entre industriel, éleveurs et périmètre irrigué dans un bassin de collecte laitier au Maroc. *Cahiers Agriculture*, 16(4) : 265-271.

<http://dx.doi.org/10.1684/agr.2007.0117>

(FI 2009 : 0,173)

ACL 18. Sraïri M.T., Touzani J., Kuper M., **Le Gal P.-Y.**, 2008. Valorisation de l'eau d'irrigation par les productions animales : cas de l'élevage bovin laitier dans un périmètre de grande hydraulique au Maroc. *Cahiers Agriculture* 17(3): 271-279.

<http://dx.doi.org/10.1684/agr.2008.0202>

(FI 2009 : 0,173)

ACL 19. Sraïri M.T., Kuper M., **Le Gal P.-Y.**, 2011. Processus d'amélioration de la valorisation de l'eau par l'élevage bovin en irrigué : expérimentation d'outils de suivi et d'accompagnement des exploitations agricoles dans le périmètre du Tadla (Maroc). *Cahiers Agriculture*, 20(1-2) : 60-66.
<http://dx.doi.org/10.1684/agr.2010.0462>
(FI 2009 : 0,173)

2.3. Articles à revue à comité de lecture (ACL) soumis à la date de dépôt du dossier¹

ACL 20. **Le Gal P.-Y.**, Dugué P., Faure G., Novak S., 2011. How does research address the design of innovative agricultural production systems at the farm level? A review. *Agricultural Systems*, 104(9), 714-728.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2011.07.007>
(FI 2009 : 2,110)

ACL 21². Bernard J., **Le Gal P.-Y.**, Moulin C.-H., under review. DairyMoTion, a whole dairy farm model to support farmers in exploring innovative production strategies. *Agricultural Systems*.
(FI 2009 : 2,110)

ACL 22. Andrieu N., Dugué P., **Le Gal P.-Y.**, Rueff M., Schaller N., Semporé A., submitted. Design and validation of a crop-livestock farm model for supporting western African farmers in tactical and strategic decisions. *Environmental Modelling & Software*.
(FI 2009 : 3,085)

ACL 23. **Le Gal P.-Y.**, Andrieu N., Dugué P., Kuper M., Sraïri M.T., 2011. Des outils de simulation pour accompagner des agro-éleveurs dans leurs réflexions stratégiques. *Cahiers Agriculture*, 20(5), 413-420.
<http://dx.doi.org/10.1684/agr.2011.0509>
(FI 2009 : 0,173)

ACL 24. Bélières J.-F., Adamczewski A., Jamin J.-Y., Seck S. M., Tonneau J.-P., **Le Gal P.-Y.**, soumis. Dynamiques foncières, investissements et modèles de production pour l'irrigation en Afrique de l'Ouest : logiques financières contre cohérences sociales ? *Cahiers Agriculture*.
(FI 2009 : 0,173)

2.4. Articles à revue à comité de lecture sans facteur d'impact (ACLN)

ACLN 1. **Le Gal P.-Y.**, 1987. L'agriculture sahélo-soudanienne face à la sécheresse: l'exemple de la région de Maradi (Niger). *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 16 : 42-50.

ACLN 2. **Le Gal P.-Y.**, 1994. Intensification des systèmes irrigués et désengagement de l'Etat dans le delta du fleuve Sénégal. *Les Cahiers de la Recherche-Développement*, 37 : 5-18.

ACLN 3. Perret, S., **Le Gal P.-Y.**, 1999. Analyse des pratiques, modélisation et aide à la décision dans le domaine de l'irrigation : cas de la gestion d'une retenue collinaire collective à la Réunion. *Economie Rurale*, 254 : 6-11.

ACLN 4. **Le Gal P.-Y.**, 2002. De nouvelles démarches d'intervention pour améliorer la gestion des périmètres irrigués tropicaux. *Comptes Rendus de l'Académie d'Agriculture de France*, 88(3) : 73-83.

ACLN 5. **Le Gal P.-Y.**, Rieu Th., Fall Ch., 2003. Water pricing and sustainability of self-governing irrigation schemes. *Irrigation and Drainage Systems*, 17(3): 213-238.
<http://www.springerlink.com/content/q27u5l35q77qn306/fulltext.pdf>

¹ Certains de ces articles sont parus à la date de la soutenance. Leur référence définitive a été renseignée dans cette version ultime du dossier.

² Suite aux remarques et propositions de l'éditeur et des relecteurs, la version révisée de cet article a été soumise en deux parties :
Supporting farmers in exploring innovative production strategies with a whole dairy farm model. Part I. Model description and validation process ; Part II. Farmers' support process and strategy exploration.

ACLN 6. Gaucher S., **Le Gal P.-Y.**, Soler L.-G., 2004. Modelling supply chain management in the sugar industry. *Sugar Cane International*, 22(2) : 8-16.

ACLN 7. De Nys E., Ducrot R., **Le Gal P.-Y.**, Rocha-Barros E., Mouco C.A.P., Chohin-Kuper A., 2005. Um procedimento de consultoria para melhorar a gestão dos perímetros irrigados coletivos do Nordeste brasileiro. *Cadernos de Ciência & Tecnológica*, 22(2) : 365-380.

ACLN 8. **Le Gal P.-Y.**, Papaïconomou H., Lyne P.W.L., Meyer E., 2006. Combined impact of alternative relative cane payment systems and harvest scheduling on growers' revenues. *Sugar Cane International*, 24(1) : 14-20.

2.5. Ouvrages scientifiques ou chapitres de ces ouvrages (OS)

OS 1. **Le Gal P.-Y.**, Dia I., 1991. Le désengagement de l'Etat et ses conséquences dans le Delta du Fleuve Sénégal. In "*La vallée du fleuve Sénégal. Evaluations et perspectives d'une décennie d'aménagements (1980-1990)*" Eds: B. Crousse, P. Mathieu, S.M. Seck. Karthala, Paris. pp. 160-174.

OS 2. **Le Gal P.-Y.**, 1995. Gestion collective des systèmes de culture en situation d'incertitude : cas de l'organisation du travail en double culture dans le delta du fleuve Sénégal. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique Paris-Grignon, 215 p. + annexes.

OS 3. **Le Gal P.-Y.**, 1997. From decision-making process analysis to modelling and simulation of farm management: application to work organization in two rice-based farming systems. In P.S. Teng et al. eds. *Systems Approaches for Agricultural Development*, Kluwer Academic Publishers, vol.1: *Applications of Systems Approaches at the Farm and Regional levels*, pp. 137-152.

OS 4. **Le Gal P.-Y.**, 1998. De la parcelle au périmètre irrigué. Comprendre l'organisation collective du travail pour juger de la conduite d'une double culture annuelle. In A. Biarnès ed., *La conduite du champ cultivé. Points de vue d'agronomes*, ORSTOM, pp. 261-280.

OS 5. **Le Gal P.-Y.**, Lejars C., 2006. Accompagner des processus d'innovation dans la gestion des bassins d'approvisionnement : application à la filière canne à sucre. In J. Caneill (dir) *Agronomes et Innovations*, Paris, L'Harmattan, pp. 323-340.

OS 6. **Le Gal P.-Y.**, 2007. Gestion de production et coordination entre exploitations agricoles : exemple de l'organisation du travail en double riziculture irriguée au Sénégal. In M. Gafsi, P. Dugué, J.-Y. Jamin, J. Brossier (eds) *Exploitations agricoles familiales en Afrique de l'Ouest et du Centre*, CTA – Quæ, pp. 313-320.

OS 7. **Le Gal P.-Y.**, Lejars C., Soler L.-G., Auzoux S., 2009. Modélisation de connaissances dans une dynamique de recherche-intervention en production sucrière. In E. de Turckheim, B. Hubert, A. Messean (Eds), *Concevoir et construire la décision*, Quæ, pp. 197-222.

3. Travaux encadrés

Depuis mes premiers travaux sur le delta du fleuve Sénégal, mes activités de recherche se sont appuyées sur l'encadrement d'étudiants de niveau Bac+5, plus rarement en deçà. Ces étudiants proviennent majoritairement des écoles agronomiques d'ingénieur, qui en France dispensent la formation en adéquation avec les thèmes que j'étudie.

J'ai co-encadré trois thèses, dont l'une a été soutenue en décembre 2010 au sein de Sibaghe [DOC 3], plus deux participations à des comités de pilotage. Les trois co-encadrements ont débouché sur des publications dans des revues à facteur d'impact. La thèse d'Erwin de Nys s'est déroulée dans le cadre d'une collaboration avec la KU Leuven et le Prof. Dirk Raes, incluant la participation de plusieurs étudiants en master. Je viens de démarrer le co-encadrement d'un étudiant burkinabé inscrit à l'Université de Dobo-Dioulasso (Encadré 2) et d'obtenir le financement d'une thèse pour un étudiant péruvien qui sera inscrit à Sibaghe en septembre 2011 (Encadré 3).

Type de diplôme	Nombre d'encadrements
Thèse de doctorat	3 + 1 en cours
Mémoire de fin d'études d'ingénieur	42
Mémoire de DESS, DEA et Master	12
Stage niveau M1	4

3.1. Thèses de doctorat (DOC)

. Co-encadrement, soutenues

DOC 1. De Nys E., 2004. Interaction between water supply and demand in two collective irrigation schemes in North-East Brazil. PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 207 p.

(Dir. de thèse : Pr. D. Raes, KU Leuven)

4 publications co-signées [ACL 3, ACL 5, ACL 16, ACLN 7]

DOC 2. Lejars C., 2008. Organisation des approvisionnements et systèmes de paiement dans les filières agro-alimentaires. Analyse appliquée aux filières canne à sucre. These de doctorat AgroParisTech, 309 p.

(Dir. de thèse : L.-G. Soler, Inra)

4 publications co-signées [ACL 6, ACL 15, OS 5, OS 7]

DOC 3. Bernard J., 2010. Conception de systèmes de production innovants dans une dynamique d'intensification laitière: cas des exploitations de polyculture-élevage relevant des périmètres de la réforme agraire dans le municipe d'Unai – MG (Brésil), UM2 – SupAgro, 103 p.

(Dir. de thèse : C.-H. Moulin, SupAgro, Sibaghe)

2 publications co-signées [ACL 14, ACL 21]

. Co-encadrement, en cours

DOC 4. Semporé A. Rôle de la modélisation dans l'aide à la conception de systèmes de production innovants : le cas des exploitations de polyculture-élevage en Afrique de l'Ouest

(Dir. de thèse : M. Sedogo, IDR, Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso)

Démarrage en septembre 2010

1 publication co-signée [ACL 22], liée à un travail antérieur à la thèse.

. Participation à comité de pilotage

DOC 4. Lamacq S., 1997. *Coordination entre l'offre et la demande en eau sur un périmètre irrigué. Des scénarios, des systèmes, des hommes...* ENGREF, 134 p. + annexes.
(Dr. de thèse : C. Millier, Engref)

DOC 5. Gaucher S., 2002. *Organisation de filière et politiques d'approvisionnement. Analyse appliquée au cas des filières agroalimentaires.* Ecole des Mines de Paris, 343 p.
(Dir. de thèse : M. Nakhla, Ecole des Mines)
1 publication co-signée [ACLN 6]

3.2. Mémoires de fin d'études d'ingénieur (ING)

ING 1. Nosmas J.-F., 1989. *Etude comparée de la dynamique et du fonctionnement d'exploitations agricoles dans le delta du fleuve Sénégal.* Mémoire de fin d'études INA-PG, 54 p. + annexes.

ING 2. Sow M.A., 1989. *Analyse des pratiques de désherbage et de la fertilisation dans le delta du fleuve Sénégal.* Mémoire de fin d'études ENSSAA-CNEARC, 76 p. + annexes.

ING 3. Faye S., 1991. *Organisation du travail en double riziculture irriguée : cas d'un aménagement hydro-agricole du delta du Sénégal (Thiagar).* Mémoire de fin d'études ENSSAA-CNEARC, 62 p. + annexes.

ING 4. Dia Ch.T., 1992. *Organisation collective des récoltes mécanisées en double riziculture irriguée. Cas de l'aménagement hydro-agricole de Diawar dans le delta du fleuve Sénégal.* Mémoire de fin d'études CNEARC, 56 p. + annexes.

ING 5. Fall O., 1992. *L'introduction de la double riziculture dans le casier de Thiagar : une analyse des conditions du changement technique dans le contexte de la Nouvelle Politique Agricole du Sénégal.* Mémoire de fin d'études ENSSAA, 89 p.

ING 6. Allené R., 1994. *Stratégies et modes de gestion des équipements agricoles par les prestataires de service mécanisés dans le delta du fleuve Sénégal.* Mémoire de fin d'études INA-PG, 54 p. + annexes.

ING 7. Barreteau O., 1994. *Des pratiques de gestion à la consommation en eau d'un périmètre irrigué. Le cas du périmètre de Nianga.* Mémoire de fin d'études ENGREF, 47 p. + annexes.

ING 8. Keda B., 1994. *Aide à la décision en riziculture inondée en Camargue : modélisation des calendriers de travail des agriculteurs pendant la phase d'installation de la culture.* Mémoire de fin d'études CNEARC, 74p. + annexes.

ING 9. Coulibaly Y., 1996. *Double riziculture et organisation du travail en traction animale : le cas du projet Retail (Office du Niger-Mali).* Mémoire de fin d'études INA-PG, 47 p. + annexes.

ING 10. Fargier Y., 1996. *Analyse des pratiques de gestion de l'eau d'irrigation dans les exploitations des Hauts de l'Ouest à La Réunion en vue de la création d'un outil d'aide à la décision.* Mémoire de fin d'études ENSAM, 56 p. + annexes.

ING 11. Gaucher S., 1996. *Analyse et modélisation de l'approvisionnement des sucreries de La Réunion. Phase préliminaire.* Mémoire de fin d'études INA-PG, 51 p. + annexes.

ING 12. Girodon Ch., 1996. *Gestion collective de l'activité battage dans la zone Office du Niger.* Mémoire de fin d'études ENESAD, 43 p. + annexes.

ING 13. Lelandais B., 1996. *Gestion des systèmes fourragers et utilisation de la traction animale en zone cotonnière du nord-Cameroun.* Mémoire de fin d'études CNEARC, 58 p. + annexes.

- ING 14. Niang I., 1997. *Contraintes techniques de production et d'organisation du travail en riziculture camarguaise. Essai de typologie*. Mémoire de fin d'études CNEARC, 65 p. + annexes.
- ING 15. de Nys E., 1997. *La gestion de la redevance en eau sur trois petits périmètres irrigués au Tchad*. Mémoire de fin d'études CNEARC, 83 p. + annexes.
- ING 16. Rubrice E., 1997. *Analyse de l'organisation du travail dans les groupements de chargement de la canne à sucre. Ile de La Réunion*. Mémoire de fin d'études CNEARC, 75 p. + annexes.
- ING 17. Sene E.H., 1997. *Les entreprises de travaux agricoles dans le Delta du fleuve Sénégal : analyse des stratégies, des modalités de gestion et des performances technico-économiques*. Mémoire de fin d'études ENESAD-CNEARC, 79 p. + annexes.
- ING 18. Requis E., 1998. *La récolte de la canne à sucre chez les petits planteurs sud-africains : organisation générale et rôle des petites entreprises de travaux agricoles*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 51 p. + annexes.
- ING 19. Blanc D., 1999. *Diagnostic de la gestion de l'information au sein des aménagements autogérés du delta du fleuve Sénégal*. Mémoire de fin d'études ENGEES, 70 p. + annexes.
- ING 20. Gachelin C., 1999. *Mise au point d'un outil de suivi de la maintenance à l'Office du Niger*. Mémoire de fin d'études ENGEES, 40 p. + annexes.
- ING 21. Loison S., 1999. *Analyse et modélisation de la logistique d'approvisionnement des sucreries de canne à La Réunion et à l'Ile Maurice*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 53 p. + annexes.
- ING 22. de Nys E., 1999. *Analyse et modélisation de la tarification de l'eau sur les périmètres irrigués collectifs dans le nord-est du Brésil*. Mémoire de fin d'études CNEARC-CIRAD, 54 p.
- ING 23. Alcubilla R.G., 2000. *Elaboration d'un outil de simulation de la tarification de l'eau : application à deux périmètres irrigués collectifs au Brésil*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 51 p. + annexes.
- ING 24. Jehan C., 2000. *Stratégies des producteurs individuels et gestion des exploitations agricoles : exemple de deux périmètres irrigués collectifs au Brésil*. Mémoire de fin d'études, INA-PG, 59 p. + annexes.
- ING 25. Merle S. et Oudot S., 2000. *Stratégies, systèmes techniques et situations économiques d'exploitations agricoles familiales dans un périmètre irrigué d'Afrique du Sud*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 118 p. + annexes.
- ING 26. Bacot M.-L., 2001. *Les stratégies d'utilisation conjuguée des eaux de surface et souterraines pour l'irrigation dans le périmètre irrigué du Tadla (Maroc)*. Mémoire de fin d'études ENGEES, 62 p. + annexes.
- ING 27. Ndienor M., 2001. *Analyse des modes de conduite de la tomate industrielle dans la Vallée du fleuve Sénégal*. Mémoire de fin d'études CNEARC, 112 p. + annexes.
- ING 28. Sana X., 2001. *Les conditions et l'organisation de l'approvisionnement des usines de concentré de tomates au Sénégal*. Mémoire de fin d'études CNEARC, 133 p. + annexes.
- ING 29. Touchain E., 2001. *SMILE : un modèle d'aide à la décision sur l'avenir et la promotion de l'agriculture irriguée dans les anciens bantoustans d'Afrique du Sud*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 33 p. + annexes.
- ING 30. Guilleman E., 2002. *Prise en compte de la qualité de la canne à sucre dans l'organisation des approvisionnements d'une sucrerie : application d'une démarche de simulation au bassin cannier de Sezela (Afrique du Sud)*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 51 p. + annexes.

ING 31. Calvino O., 2003. *Pertinence et faisabilité d'une réorganisation des approvisionnements d'une sucrerie de canne : application d'une démarche de simulation au bassin de collecte de Sezela (Afrique du Sud)*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 62 p. + annexes.

ING 32. Papaïconomou H., 2004. *Evaluation de différents systèmes de paiement dans le cadre d'une réorganisation des approvisionnements d'une sucrerie : application d'une démarche de simulation au bassin de collecte de Sezela, Afrique du Sud*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 119 p.

ING 33. Mirkou Y., 2004. *Etude préalable à la mise en place d'un système d'information dédié à la gestion de l'eau à l'Office du Niger*. Mémoire de fin d'études CNEARC, 89 p.

ING 34. Lefebvre O., 2005. *Bilan et perspectives autour de l'automatisation du système d'information dédié à la maintenance à l'Office du Niger*. Mémoire de fin d'études Polytech Montpellier, 80 p.

ING 35. Oudin E., 2006. *Analyse et propositions d'améliorations du fonctionnement de coopératives de collecte laitière au Maroc : approche par les systèmes d'information*. Mémoire de fin d'études INA-PG, 64 p.

ING 36. Le Masson J., 2007. *Articulation de modèles de planification logistique et d'approvisionnement d'une sucrerie : application à la mécanisation de la récolte de la canne dans le bassin de Noodsberg (Afrique du Sud)*. Mémoire de fin d'études AgroParisTech, 58 p. + annexes.

ING 37. Bara M., 2007. *Elaboration d'outils de réflexion stratégique sur les évolutions des exploitations : application à l'échelle d'une coopérative laitière dans un périmètre irrigué du Maroc*. Mémoire de fin d'études SupAgro, 45 p.

ING 38. Paul L., 2008. *Expérimentation d'une démarche de conseil technico-économique dans des exploitations laitières familiales au Maghreb : cas du périmètre irrigué du Tadla (Maroc)*. Mémoire de fin d'études AgroParisTech, 61 p. + annexes.

ING 39. Schaller N., 2008. *Analyse et modélisation des relations agriculture – élevage au sein d'exploitations cotonnières dans l'Ouest du Burkina-Faso*. Mémoire de fin d'études AgroParisTech, 58 p. + annexes.

ING 40. Laporte M., 2008. *Diagnostic des systèmes de production et des marchés de la vallée du Mantaro, Andes centrales péruviennes*. Mémoire de fin d'études SupAgro-ENSAT, 79 p. + annexes.

ING 41. Amossé C., 2009. *Analyse et évaluation ex-ante de l'introduction d'innovations techniques dans les élevages laitiers en périmètre irrigué au Maroc*. Mémoire de fin d'études AgroParisTech, 69 p. + annexes.

ING 42. Douhard F., 2010. *Conception et expérimentation d'outils de simulation pour l'accompagnement d'agro-éleveurs. Application dans la région du Lac Alaotra (Madagascar)*. Mémoire de fin d'études SupAgro, Cirad, VetAgro Sup, 34 p. + annexes.

3.3. Mémoires de DESS, DEA et Master (MAS)

MAS 1. Saintin P., 1996. *Analyse des modalités de récolte et d'évacuation de la canne à sucre chez les petits planteurs de La Réunion*. Mémoire de DESS, Université Paris XII, 59 p. + annexes.

MAS 2. Gaucher S., 1997. *Organisation de l'approvisionnement de sucreries de canne : conception d'un modèle d'aide à la décision*. Mémoire de DEA, Université Paris-Dauphine, LAMSADE, 69 p.

MAS 3. Bruel O., 1998. *Mise en place d'une maquette d'un outil de gestion pour les périmètres irrigués en Afrique sahélienne*. Mémoire de DESS, CNAM-CIRAD, 96 p.

MAS 4. Fall Ch., 1998. *Gestion collective de la redevance hydraulique dans les grands aménagements transférés du delta du fleuve Sénégal*. Mémoire de Master CIHEAM-CIRAD-SAED, 109 p. + annexes.

MAS 5. Fall Ch., 1999. *Analyse de la tarification de l'eau sur les périmètres irrigués du delta du fleuve Sénégal*. Mémoire DEA, ENSAM-UM1, 81 p. + annexes.

MAS 6. Bouklit M., 2000. *Mise en place d'un suivi informatisé de la maintenance à l'Office du Niger*. Mémoire de DEA, UM II-CIRAD, 55 p. + annexes.

MAS 7. Kebiri A., 2000. *Informatisation de gestion de la maintenance du réseau hydraulique de l'Office du Niger au Mali*. Mémoire de DEA, UM II, 44 p. + annexes.

MAS 8. Verbrugge H., 2000. *Karakterisering en evaluatie van de watervraag van landbouwers op collectieve irrigatie-perimeters in noordoost - Brazilië*. Master Thesis, KU Leuven, 109 p.

MAS 9. Almenar C., 2001. *Accompagnement de la mise en place d'un outil SGBD de suivi informatisé de la maintenance à l'Office du Niger*. Mémoire de Master 1, UTT-CIRAD-Office du Niger, 64 p. + annexes.

MAS 10. Sinjan E., 2003. *Analysis of the water management on a small-scale irrigation perimeter in Kwazulu-Natal, South Africa*. Master Thesis, KU Leuven, 104 p.

MAS 11. Hennebert D., Moerenhout T., 2007. *Conflict between water demand and supply in the Tadla irrigation scheme (Morocco) : actual situation and future trends*. Master Thesis, KU Leuven, 82 p.

MAS 12. Cortijo E., 2009. *Analyse du fonctionnement de bassins de collecte laitiers dans une vallée andine (Mantaro, Pérou)*. Mémoire de Master 2, IAMM – UM1, 78 p.

3.4. Stages niveau M1

CES 1. Puillet L., 2005, SupAgro. *Typologie et modélisation des exploitations laitières sur le périmètre irrigué du Tadla (Maroc)*

CES 2. Gendre L., 2006, SupAgro. *Organisation de la chaîne d'approvisionnement de la datte tunisienne*

CES 3. Saint-André F., 2009, AgroParisTech. *Analyse des relations agriculture-élevage et place des techniques d'agriculture de conservation au sein d'exploitations du Lac Alaotra (Madagascar)*

CES 4. Rueff Marine, 2010. Ensat. *Expérimentation d'un outil de modélisation du fonctionnement des exploitations dans une démarche de conseil agricole. Le cas des systèmes de production coton-céréales-élevage au Burkina-Faso*.

2nde Partie : Synthèse des travaux

Chapitre 1. Questions et démarches générales de recherche

1. Problématique générale

L'agronomie en tant que discipline scientifique s'est construite en France autour de trois objets dont sont issus des champs de recherche différents (Sebillotte, 2005) : (i) **la parcelle**, étudiée tant du point de vue du fonctionnement du peuplement végétal cultivé que de sa conduite technique, à l'aide de concepts aujourd'hui largement diffusés tels que l'itinéraire technique³ (Sebillotte, 1978) et le système de culture⁴ (Sebillotte, 1990) ; (ii) **l'agriculteur**, en tant qu'acteur décidant des interventions techniques réalisées sur ses parcelles, au sein de son exploitation agricole considérée comme un système (Osty, 1978) et selon une rationalité propre (Brossier *et al.*, 1997) différente de celle de l'agronome ; et (iii) **le territoire**, objet apparu plus récemment pour tenir compte des interactions entre parcelles et exploitations agricoles au sein d'un espace (Benoit *et al.*, 2006), avec des interrogations diverses telles que la gestion de l'érosion dans les bassins versants (Joannon *et al.*, 2005), la gestion de la qualité de la production agricole dans un bassin d'approvisionnement agro-industriel (Le Bail, 2005) ou les relations agriculture-élevage au sein d'un terroir agro-pastoral (Dugué *et al.*, 2004).

Ces objets et les questions qu'elles génèrent sont étudiés par l'agronome dans une double perspective structurante pour la discipline (Sebillotte, 1974) : la production de connaissances, objectif intrinsèque à toute discipline scientifique, d'une part, l'action au niveau de la pratique agricole, donc de l'agriculteur, d'autre part. Cette seconde tâche nourrit le caractère finalisé de l'agronomie, qui doit élaborer son projet scientifique entre savoirs théoriques sur les processus biotechniques et lien à l'action. Ma carrière a été fortement influencée par ce positionnement et ce corpus théorique, suite à ma formation à la chaire d'Agronomie de l'Institut National Agronomique, sous la direction de Michel Sebillotte et de son équipe. **Mes travaux ont été essentiellement conduits sur les objets « agriculteur » et « territoire »**, en cherchant à répondre aux deux questions suivantes renvoyant aux deux tâches majeures de l'agronome :

- ⇒ **Comment les producteurs⁵ gèrent-ils leurs systèmes de production (i) à l'échelle de leur exploitation agricole et (ii) en interaction avec d'autres acteurs au sein d'entités collectives (périmètre irrigué, bassin d'approvisionnement agro-industriel) ?**
- ⇒ **Comment aider les producteurs et les acteurs avec lesquels ils interagissent à concevoir de nouvelles formes de gestion ?**

Dans ce cheminement entre des objets de nature individuelle (l'exploitation agricole) et collective (le bassin d'approvisionnement et le périmètre irrigué), entre l'analyse et l'aide à l'action, j'ai été amené à **interagir avec d'autres disciplines**, dont les concepts et méthodes ont enrichi mon bagage d'agronome. Je citerai essentiellement (i) la zootechnie pour la prise en compte des relations entre productions végétales et animales au sein des exploitations agricoles, (ii) l'hydraulique agricole pour les liens entre gestion de l'eau et productions végétales, (iii) l'économie et les sciences de gestion pour le passage du système de culture au système de production, de la parcelle à l'exploitation agricole, mais également des processus de décision du producteur aux processus de coordination

³ « Suite logique et ordonnée de techniques culturales appliquées à une espèce végétale cultivée »

⁴ « Ensemble des modalités techniques mises en œuvre sur des parcelles traitées de manière identique. Se définit par (i) la nature des cultures et leur ordre de succession, (ii) les itinéraires techniques appliqués à ces différentes cultures, y inclus le choix des variétés »

⁵ J'ai utilisé le terme générique « producteur » dans l'ensemble de ce document pour désigner les personnes produisant des productions végétales et animales, sans référence au type de production comme le fait couramment la langue française (agriculteur, éleveur, planteur, arboriculteur, riziculteur, etc.). Cela me permet également de m'affranchir de termes aux limites floues et parfois conflictuelles, par exemple entre « exploitant agricole » et « paysan ».

entre acteurs au sein d'organisations collectives, thème qui fera l'objet de ma thèse de doctorat [OS 2]⁶. J'ai également développé chemin faisant des relations avec mes collègues agronomes de la parcelle, dans une dynamique d'échanges entre la mobilisation de connaissances biotechniques, l'émergence de questions tirées des observations chez les producteurs et la production de nouvelles connaissances.

Ce mémoire illustre comment ces interactions disciplinaires ont contribué à enrichir mes concepts et démarches d'agronome, tout en s'articulant avec les problématiques de développement que j'ai rencontrées au cours de 30 années d'interventions dans les régions méditerranéennes et tropicales. Après une présentation des terrains où je suis intervenu et des démarches que j'ai utilisées, cette partie est organisée autour de deux chapitres correspondant aux deux questions ci-dessus. Le premier est consacré à l'analyse des processus de gestion des systèmes de production agricole aux échelles individuelles et collectives, le second à l'accompagnement des acteurs en vue de concevoir des systèmes de production innovants.

2. Terrains d'intervention

M'intéresser aux producteurs et aux modalités de gestion de leurs systèmes de production m'a amené à ancrer mes travaux de recherche dans des dispositifs combinant des terrains et des démarches de recherche qui, à la fois, organisent mes interactions avec des acteurs dans leur contexte et transforment les observations faites en connaissances génériques.

La notion de terrain renvoie elle-même à des ensembles caractérisés par des lieux, des acteurs (producteurs, conseillers agricoles, agro-industriels, institutions de développement), des systèmes de production et des questions de développement. Idéalement ces terrains devraient être choisis en fonction de leur adéquation aux questions scientifiques traitées. Concrètement les opportunités de partenariat et de financement ont, pour une bonne part, guidé mes interventions. Mais j'ai néanmoins cherché à conserver une cohérence dans l'évolution de ma carrière en respectant quelques règles simples :

(i) **ne pas me limiter à des travaux purement analytiques et mettre en œuvre systématiquement une dimension « accompagnement des acteurs »** qui a pris des formes différentes avec le temps, depuis des restitutions des travaux réalisés jusqu'à des démarches s'appuyant sur des outils formels de conseil ;

(ii) **varier les systèmes de production étudiés**, que ce soit en termes de production (végétale ou animale) et d'organisation (exploitations individuelles, organisations collectives). Cette diversité a alimenté une analyse comparée débouchant sur des connaissances et démarches plus génériques car dépassant le seul système étudié. Elle m'a également permis d'interagir avec des communautés scientifiques et professionnelles variées, souvent organisées autour de productions (canne à sucre) ou de ressources (eau par exemple), alors même que l'objet « exploitation agricole » amène à s'intéresser à des combinaisons de productions et de ressources ;

(iii) **m'assurer de partenariats scientifiques solides sur chaque terrain d'intervention**, que j'y sois physiquement présent pendant mes périodes d'affectation outre-mer, ou que j'intervienne depuis Montpellier sur la base de missions de courte durée et d'étudiants co-encadrés avec les collègues présents sur place ;

(iv) **tisser des liens étroits avec les entités professionnelles concernées**, que ce soit pour co-construire une demande sur laquelle baser l'intervention de recherche, conduire le processus de recherche et restituer ou transférer les résultats et démarches produits. Ces entités ont pu prendre des formes variées selon les terrains, depuis des projets de développement rural jusqu'à des organisations interprofessionnelles liées à des productions agro-industrielles.

⁶ Les références à mes travaux sont citées dans le texte à l'aide de leur identifiant dans la liste des publications présentée en première partie.

L'articulation des terrains sur lesquels je suis intervenu est décrite à la Figure 1 pour mes travaux analytiques, à la Figure 2 pour mes travaux liés à l'aide au changement, en fonction de l'échelle d'intervention (parcelle/troupeau, exploitation, territoire), ce depuis le début de ma carrière comme volontaire du service national à l'Institut d'économie rurale au Mali, suivi par un séjour au Niger dans un projet de développement rural où j'étais responsable du suivi-évaluation (région de Maradi), avant mon entrée au Cirad en octobre 1986. Ce cheminement de 30 ans m'a amené à travailler dans trois grands domaines :

- **la gestion des exploitations** de polyculture-élevage en zone sahélo-soudanienne (Mali et Niger en début de carrière, Burkina-Faso et Madagascar actuellement), des exploitations laitières sur périmètres irrigués (Maroc, Brésil et Pérou) et des exploitations rizicoles irriguées (Sénégal, Camargue) ;

- **la gestion des périmètres irrigués collectifs**, d'abord sous l'angle de l'organisation collective du travail en double riziculture au Sénégal puis, par extension, des relations entre gestionnaires de périmètres et producteurs (Brésil, Mali et Sénégal) ;

- **La gestion des bassins d'approvisionnement** d'unités de collecte et de transformation agro-industrielle, d'abord en canne à sucre (Afrique du Sud, La Réunion) puis dans le secteur du lait (Maroc, Pérou) et de la datte (Tunisie).

3. Démarches générales de recherche

Les démarches que j'ai mobilisées sur ces différents terrains et thématiques s'inscrivent dans le courant général des **méthodes de recherche participative** (Selener, 1997 ; Faure *et al.*, 2009), mises en œuvre depuis la fin des années 1970s à l'Inra avec la création du département SAD⁷, puis au Cirad avec celle du DSA⁸ que j'ai rejoint lors de mon recrutement. La spécificité des contextes tropicaux (forte atomisation et diversité des exploitations agricoles, faible niveau d'investissement, d'organisation et d'information) avait alors conduit à la formalisation d'une démarche dite de « recherche-développement », mettant fortement l'accent sur la compréhension de cette diversité comme base d'un diagnostic débouchant sur des propositions d'action négociées avec les producteurs (Lefort, 1983 ; Jouve et Mercoiret, 1987). J'ai moi-même participé à un tel programme au sein du projet de développement où j'intervenais au Niger, en prenant en charge la partie analytique de connaissance des exploitations agricoles dans la zone d'intervention du projet. Cette composante, fondée sur un échantillon de villages et d'exploitations, était articulée avec une gamme d'activités expérimentales telles que des essais en milieu paysan comparant des variétés, des doses d'engrais, ou des banques de céréales ou d'engrais gérés par les producteurs eux-mêmes.

Cette démarche faisait écho au plan international à l'essor du **farming system research** (Chambers *et al.*, 1989 ; Collinson *et al.*, 2000) où se retrouvait ce souci de comprendre les réalités paysannes tout en essayant d'agir avec et sur elles, essentiellement à travers la mise en place d'expérimentations comparant les pratiques mises en œuvre par les producteurs avec des innovations techniques proposées par la recherche (Triomphe, 1988 ; Tripp, 1991). Bien qu'*a priori* attractives pour un agronome souhaitant ancrer son travail de recherche dans une double composante analytique et d'accompagnement des producteurs, ces démarches me laissèrent rapidement insatisfaits pour deux raisons majeures : (i) elles se limitaient souvent à des diagnostics contextualisés, ne débouchant pas suffisamment sur des connaissances génériques ; (ii) la composante d'aide à l'action, lorsqu'elle existait, se limitait à des innovations ponctuelles et incrémentales (Le Masson *et al.*, 2006). Ces méthodes donnaient peu de clés pour intervenir à l'échelle de l'exploitation agricole au-delà de suivis du type « ferme de référence » (Bonnal *et al.*, 1994). Il ne suffisait donc pas d'interagir avec des producteurs, sous une forme plus ou moins partenariale, pour produire des connaissances valorisables, tant du point de vue scientifique que de l'action.

⁷ D'abord « Systèmes agraires et développement » puis « Sciences pour l'action et le développement ».

⁸ Département Systèmes Agraires, créé en 1986 mais dont l'existence formelle s'est arrêtée en 1993 avec sa fusion avec d'autres entités de l'époque.

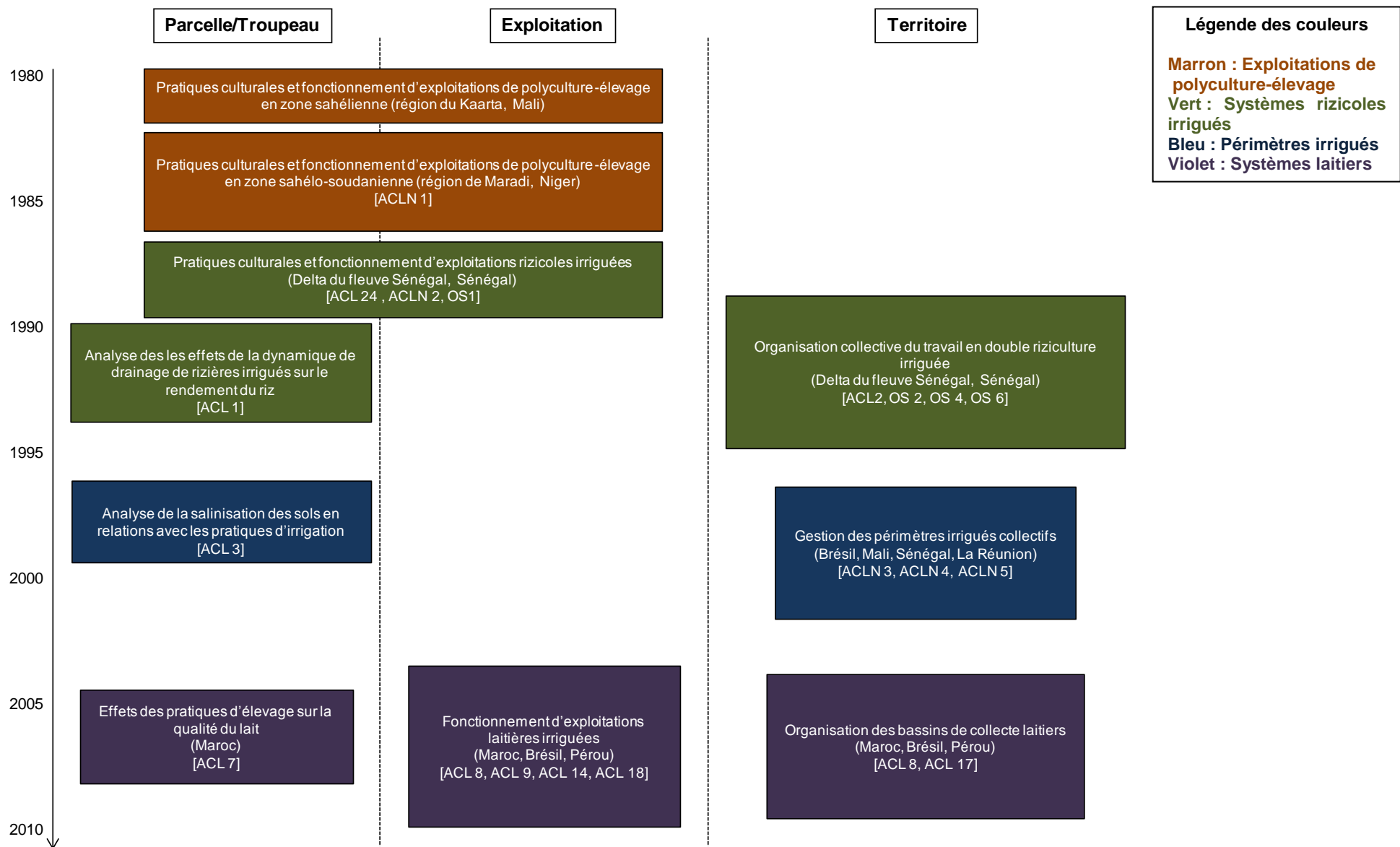


Figure 1 Positionnement de mes différents travaux analytiques durant ma carrière

Chaque recherche est positionnée en fonction de ses dates de début et fin (hauteur du rectangle), de l'échelle d'intervention (en colonne) et du type de système de production (couleur).

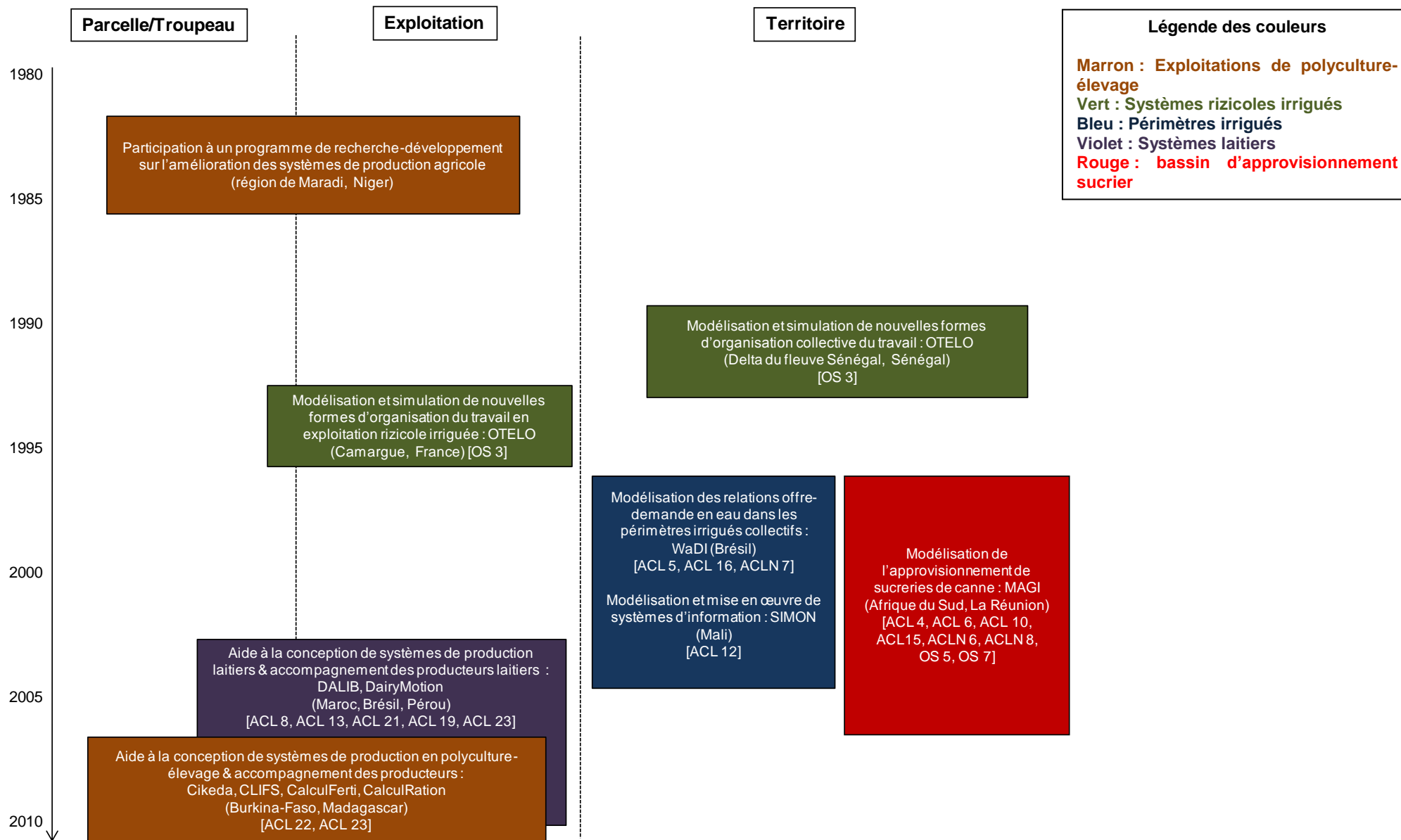


Figure 2 Positionnement de mes travaux liés à l'aide au changement durant ma carrière
 Chaque recherche est positionnée en fonction de ses dates de début et fin (hauteur du rectangle), de l'échelle d'intervention (en colonne) et du type de système de production (couleur).

Ma découverte des sciences de gestion, d'abord par l'intermédiaire de François Papy, agronome à l'Inra-Sad qui a encadré ma thèse, puis avec Louis-Georges Soler, économiste à l'Inra-SAE2⁹, lors de notre collaboration sur les bassins d'approvisionnement sucriers, me fit découvrir, à travers la **recherche-intervention**, un cadre méthodologique formalisé plus proche de mes attentes. Ce cadre, utilisé dans des contextes industriels, est fondé sur une « *interaction continue et instrumentée* » entre chercheurs et acteurs, partant d'une demande exprimée par l'organisation et donnant une place importante aux outils de gestion¹⁰ (Moisdon, 1984). La démarche se fonde sur une vision dynamique de l'action collective au sein des entreprises, vue comme un ensemble d'interactions entre, d'une part, les processus organisationnels et les outils de gestion, d'autre part, les savoirs détenus par les acteurs et leurs relations au sein de l'organisation, dont les dispositifs de coordination mis en place pour parvenir à un résultat (Hatchuel, 2000).

Si la résolution de problèmes est le moteur de la recherche-intervention, la complexité des situations de gestion rend illusoire la définition d'un optimum mathématique tel que classiquement recherché en recherche-opérationnelle (Le Moigne, 1990). L'aide à la décision devient alors une aide à l'apprentissage des acteurs pour se forger des représentations communes d'une situation, explorer des voies possibles d'évolution ou accompagner un changement (Roy, 1992). Dans cette perspective, les outils de gestion ne se limitent plus à des cadres rationnels, auxquels doivent se conformer les organisations, mais deviennent des outils d'investigation des fonctionnements organisationnels, de pilotage des mutations ou d'exploration du nouveau (Moisdon, 1997). Ils doivent respecter certains principes, notamment être transparents et intelligibles pour être évaluables par les acteurs (Thepot, 1995), tant pour faciliter la construction de représentations communes des situations étudiées que pour stimuler les dynamiques de changement dans lesquelles s'inscrivent acteurs et intervenants.

Comme le souligne David (2000), la recherche-intervention permet **d'associer l'implication du chercheur dans des situations de gestion réelles** (processus de contextualisation qui fonde un courant comme la recherche-action) **et la formalisation des processus étudiés à travers la conception d'outils de gestion**, eux-mêmes différents des modèles stylisés produits par des approches plus théoriques, « en laboratoire » (Figure 3). La mise en œuvre de la démarche fait appel à plusieurs composantes (Moisdon, 1984) : existence d'une demande de la part des acteurs qui sera reformulée au cours des premières négociations avec les chercheurs, contractualisation des relations acteurs-chercheurs, intervention dans la durée, mise en place de groupes de réflexion où les avancées de l'intervention sont restituées et discutées, entraînant d'éventuelles réorientations. Dans certains cas l'organisation des relations entre acteurs et chercheurs fait appel à différents comités (d'animation, de gestion, scientifique) afin de tenir dans la durée le double objectif de résultats pour l'action et de production scientifique (Chia, 2004).

Cette démarche répondait à mon souci de dépasser les limites de la recherche-développement, que ce soit en termes de production de connaissances génériques, de prise en compte de questions d'ordre plus stratégique au sein des exploitations agricoles et des organisations collectives étudiées, et d'aide au changement. J'ai adapté ces principes et composantes aux contextes où je l'ai mobilisée. Il est rare qu'une demande m'ait été adressée directement par des producteurs ou des industriels, qui ne voyaient pas en quoi la recherche pouvait répondre aux questions de gestion qu'ils se posaient. L'atomisation des producteurs et leur degré variable d'organisation rendaient souvent difficile l'identification d'un interlocuteur susceptible de remplir un rôle de représentation et d'animateur.

Je me suis donc souvent trouvé dans une position d'offre d'intervention, à partir de laquelle le processus de négociation et de formulation conjointe d'une demande a pu être engagé. Les interventions ont été conduites sous une forme institutionnelle légère, sans contrat explicite ni comités de gestion formels, et selon des durées variables adaptés aux financements et temps de présence sur le terrain. Pour pallier ces contraintes, j'ai cherché à dépasser l'intervention contextualisée en concevant des modèles expérimentables dans différentes situations et transférables à des acteurs non chercheurs, qu'il s'agisse de l'approvisionnement de sucreries [ACL6], de la gestion des périmètres irrigués [ACL5] ou de la gestion des exploitations agricoles [ACL8, ACL13, ACL21, ACL22].

⁹ Département Sciences sociales, agriculture et alimentation, espace et environnement

¹⁰ Ces outils peuvent prendre des formes très variées, depuis des outils de gestion de l'information (tableaux de bord, bases de données) jusqu'à des outils d'optimisation et de simulation pour l'aide à la prospective.

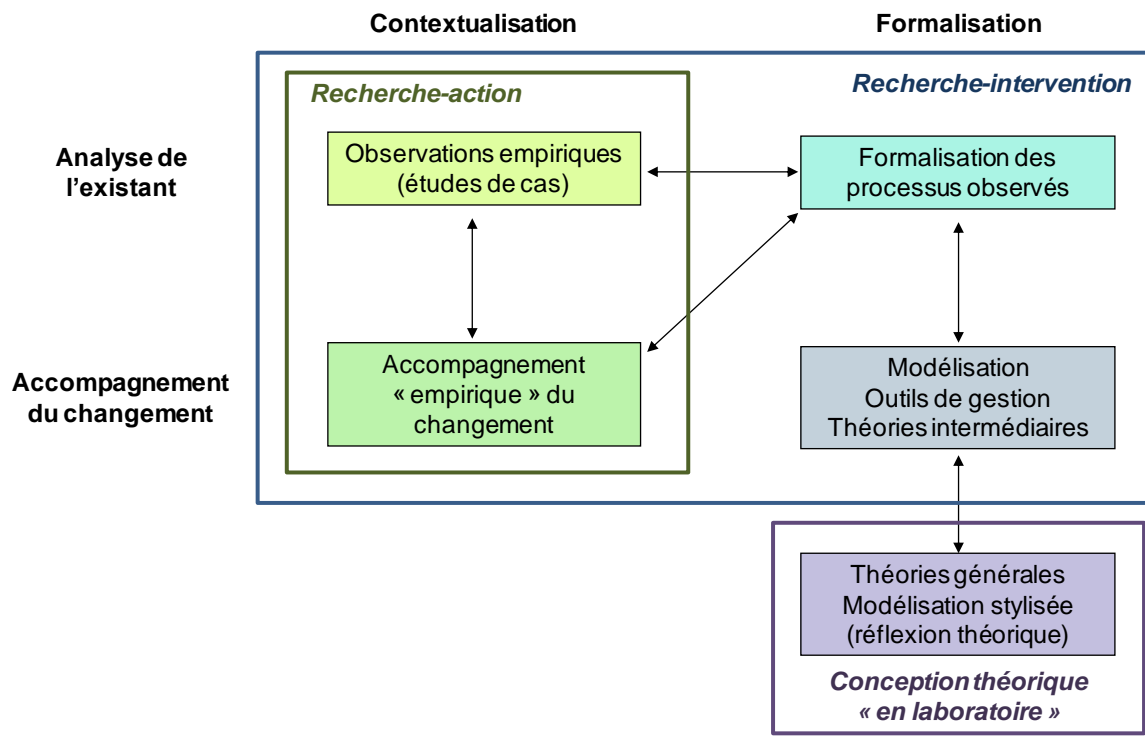


Figure 3. Positionnement de la recherche intervention

Le cadre vert délimite le positionnement de la recherche-action, le cadre bleu celui de la recherche intervention et le cadre violet celui des recherches théoriques. Les flèches à double sens soulignent les relations entre les différentes activités décrites dans les boîtes (d'après David, 2000).

Chapitre 2. Analyser les processus de gestion des systèmes de production aux échelles individuelles et collectives

Comme le soulignait Michel Sebillotte dans la préface d'une récente synthèse sur l'agronomie (Doré et al., 2006), « *l'agronome a pour ambition de voir les connaissances qu'il produit utilisées par l'agriculteur* ». Ce souci légitime n'est pas sans risque de dérive, s'il s'inscrit dans un schéma linéaire de diffusion des techniques issues de ces connaissances, dans lequel le chercheur conçoit, le conseiller agricole diffuse et le producteur applique. Ce schéma a montré ses limites dans de nombreuses situations, particulièrement dans les pays en développement, car il méconnaît la diversité de situation des exploitations agricoles, les écarts entre l'offre technologique et les besoins des producteurs, et leur capacité à innover (Sumberg, 2005).

Cette critique est à l'origine de l'importance donnée par l'agronomie française au producteur, et à l'étude, d'abord de ses pratiques, puis de ses processus de décision. L'objectif poursuivi est triple : comprendre la façon dont un producteur prend ses décisions dans un contexte et selon une rationalité qui lui est propre ; porter un diagnostic sur les résultats de ses décisions et sur les processus eux-mêmes, dans une double perspective interne (le producteur a-t-il atteint ses objectifs ?) et externe (aurait-il pu faire mieux ou autrement ?) ; définir avec le producteur des évolutions possibles de ses pratiques gestionnaires, fondées sur le diagnostic porté et une exploration des alternatives envisageables, composante qui sera traitée au chapitre 3.

Ce projet scientifique a nourri mes premiers travaux au Mali, Niger et Sénégal et alimenté ma réflexion sur ses limites et l'intérêt d'élargir mes objets de recherche du couple parcelle / système de culture au couple système de production / exploitation agricole, puis de l'exploitation agricole à la gestion collective de ressources partagées.

1. Des pratiques culturelles aux processus de gestion des exploitations agricoles

1.1. Concepts

Je décrirai dans cette section les concepts mobilisés au cours de mes recherches sur la gestion des exploitations agricoles, puis leurs évolutions suite à ces travaux.

- *Bases conceptuelles utilisées au cours de mes recherches*

Comprendre la façon dont un producteur prend ses décisions a conduit à forger des concepts spécifiques, tirés de l'observation du réel. **Le concept de « pratique »** a tout d'abord été mis en avant par les agronomes et zootechniciens (Milleville, 1987 ; Sebillotte, 1987 ; Landais et Deffontaines, 1988) pour différencier les actions réalisées par les producteurs sur leurs parcelles et troupeaux du concept de « technique » relevant de la connaissance scientifique et caractérisé de façon normative par le monde de la recherche et des techniciens. De nombreux travaux ont alors mobilisé les concepts d'itinéraire technique et de système de culture pour caractériser les pratiques culturelles *in situ*, à partir d'observations directes et d'enquêtes rétrospectives sur des échantillons plus ou moins larges d'exploitations agricoles¹¹. Ces travaux soulignent l'existence **d'une diversité des pratiques dans une région donnée**, confirmant ainsi la distinction entre pratique et technique.

Au-delà de cette dimension descriptive, le concept de pratique se trouve à l'interface entre agronomes de la parcelle et agronomes de l'exploitation agricole (Figure 4). Il est en effet mobilisable par les premiers pour porter un diagnostic au champ et élargir leur gamme de références biotechniques (Jouve, 1985 ; Duru, 1987). Il exprime pour les seconds la traduction concrète des processus de décision pris par le producteur à d'autres niveaux d'organisation de la production agricole,

¹¹ Les *Cahiers de la Recherche-Développement*, publiés par le Département Systèmes Agraires du Cirad, furent de 1983 à 1999 un support privilégié de diffusion de ce type de travaux en milieu francophone, poursuivi depuis par *Cahiers Agriculture*. Une revue anglophone comme *Agricultural Systems* est également ouverte à ce type d'analyse.

essentiellement la sole d'une culture¹² et l'exploitation agricole. Comprendre les déterminants des pratiques pour porter un diagnostic sur la cohérence des choix faits par les producteurs en relation avec leurs objectifs et leurs contraintes, nécessite donc de changer d'échelle (Passioura, 2010).

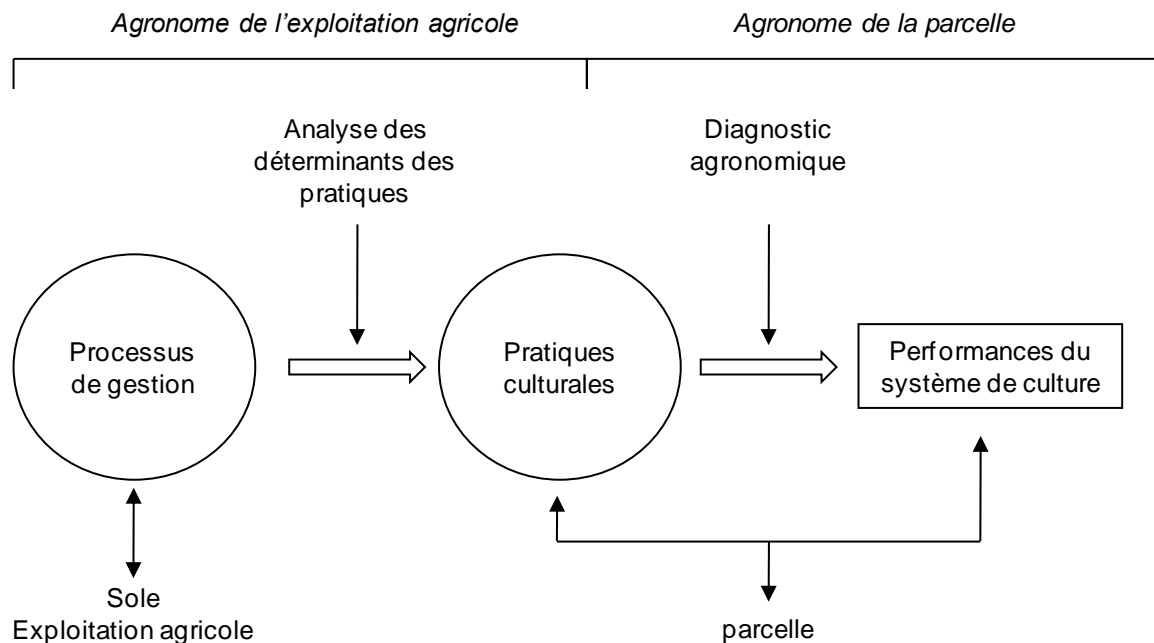


Figure 4. Positionnement du concept de pratique par rapport aux entités de gestion et à son utilisation par les agronomes

Les pratiques culturales sont à l'interface entre agronome de l'exploitation agricole et de la parcelle. Elles dépendent des processus de gestion et de décision des producteurs au niveau de l'exploitation, tout en conditionnant les performances des systèmes de culture à la parcelle.

Ce changement d'échelle s'est opéré en mobilisant avec d'autres disciplines (zootechnie, économie et sciences de gestion) les concepts **d'exploitation agricole**, de **système de production** et de **modèle d'action** définis ci-après.

. Exploitation agricole

Le concept d'exploitation agricole a fait l'objet de nombreuses définitions depuis les années 70s. Si chacun s'accorde sur la dimension systémique de cette entité (Osty, 1978), les angles de vue sur les éléments internes au système et sur leurs interactions varient selon les auteurs. Certains économistes ruraux insistent sur le couple exploitation-famille car les décisions prises au niveau de l'exploitation prennent en compte les objectifs de la famille et non pas du seul chef d'exploitation (Marshall *et al.*, 1994). Inspirés par les approches de Le Moigne (1977) sur la représentation canonique des systèmes complexes, Brossier *et al.*, (1997) distinguent au sein de l'exploitation agricole trois sous-systèmes : **le système décisionnel, le système de mémorisation et d'information, et le système opérant**. La théorie du comportement adaptatif stipule que ces trois sous-systèmes sont actionnés par le producteur en cohérence avec ses finalités et projets et son environnement naturel et socio-économique.

Les agronomes mettent plus particulièrement l'accent sur les relations entre **les objectifs du producteur, la structure de son exploitation** (état de ses ressources en terre, main-d'œuvre, cheptel, équipement, capital), **son fonctionnement** en tant qu'ensemble des décisions régissant les processus de production, et **ses performances** techniques (productivité des ateliers de production animale et végétale) et économiques (Capillon, 1993). Cette approche est utilisée pour analyser (i) la gestion interne de l'exploitation, en distinguant décisions stratégiques (investissements, dimensionnement), tactique (planification des activités à l'échelle de l'année ou de la campagne) et opérationnelle (pilotage des activités au pas de temps infra-hebdomadaire) (Hémidy *et al.*, 1993), ou

¹² Ensemble des parcelles portant une même culture une année donnée au sein d'une exploitation agricole

(ii) la diversité régionale des exploitations *via* la construction de **typologies** intégrant les dynamiques d'évolution (trajectoires) entre types (Capillon, 1985).

. Système de production

Utilisé dans une perspective se rapportant à la gestion interne de l'exploitation agricole et non de comparaison entre exploitations (Brossier, 1987), le concept de système de production se définit comme la façon dont le producteur **alloue ses ressources en vue de produire** des biens végétaux et animaux et, de plus en plus, des services environnementaux. Cette définition est proche de celle donnée en gestion de production industrielle, qui recouvre à la fois des aspects de **planification** et de **pilotage des flux** au sein de l'entreprise et dans la chaîne logistique (Giard, 1988 ; Boujut *et al.*, 2007). Un système de production comprend donc, selon les cas, différents systèmes de culture et d'élevage en interaction, et s'articule lui-même avec d'autres composantes de l'exploitation (approvisionnement en intrants et services, commercialisation des productions, gestion financière).

. Modèle d'action

Ce concept a été mis au point à l'origine pour fournir un **cadre de représentation** de la façon dont les producteurs prennent leurs **décisions de conduite des cultures** (Sebillotte et Soler, 1990 ; Papy, 1994). Il précise donc, sur un aspect spécifique, le concept de système de décision au sein de l'exploitation. Ce cadre comprend « (i) un ou plusieurs objectifs généraux qui définissent le terme vers lequel convergent les décisions de l'agriculteur (ii) un programme prévisionnel et des états objectifs intermédiaires qui définissent des points de passage obligés et des moments où l'agriculteur pourra faire des bilans pour mesurer où il en est de la réalisation de ses objectifs généraux : se trouvent ainsi fixés des indicateurs qui serviront aux décisions (iii) un corps de règles de décision qui, en vertu d'un champ d'évènements perçu comme possibles par l'agriculteur, définit pour chaque étape du programme la nature des décisions à prendre pour parvenir au déroulement souhaité des opérations et la nature des solutions de rechange à mettre en œuvre si, à certains moments, ce déroulement souhaité n'est pas réalisable ».

Le modèle d'action a servi de support pour la **construction de modèles conceptuels des processus de décision** des producteurs concernant l'organisation du travail dans les exploitations de grande culture (Attonaty *et al.*, 1993), la gestion d'une sole de culture (ex. : Aubry *et al.*, 1998 pour le blé d'hiver dans le bassin parisien ; Dounias *et al.*, 2002 pour le coton au Cameroun ; Navarrete et Le Bail, 2007 pour la salade dans le sud-est de la France), la gestion de l'irrigation (Labbé *et al.*, 2000 ; Mérot *et al.*, 2008), du système fourrager (Cros *et al.*, 2004) ou des déchets organiques (Aubry *et al.*, 2006) à l'échelle de l'exploitation. Ce cadre permet de passer d'une vision *ex-post* des pratiques constatées sur le terrain, fruit d'une relation complexe entre les intentions des producteurs et leurs actions réelles liées aux aléas rencontrés en cours d'intervention, à une vision *ex ante* de leurs processus de décision, construite sur la base de ce qu'ils cherchent à faire et sur la manière dont ils comptent s'y prendre pour y parvenir. Les concepts de modèle d'action et de pratique renvoient donc *in fine* aux notions de planification du système de production au pas de temps annuel ou de la campagne et de son pilotage au pas de temps infra-hebdomadaire.

En mobilisant ces bases conceptuelles, l'objectif général pour les agronomes est de pouvoir **comprendre la manière dont fonctionne l'exploitation agricole** (Capillon et Caneill, 1987) et **la façon dont le producteur prend ses décisions** de gestion, et plus particulièrement de gestion technique (Aubry *et al.*, 1998), afin de **porter un diagnostic sur les performances** réalisées par l'exploitation et **fournir des propositions d'amélioration** aux niveaux où se situent les leviers d'action du producteur (Capillon, 1988).

- *Evolutions conceptuelles suite à mes recherches*

Bien que contingents aux types de systèmes de production sur lesquels ils ont porté, mes différents travaux analytiques sur les exploitations agricoles ont débouché sur deux produits conceptuels. Le premier, non publié mais utilisé comme support de cours, s'inspire de mes travaux sur la gestion d'organisations collectives en proposant une **représentation de la gestion de l'exploitation sous la forme de processus de coordinations internes et externes** (Figure 5).

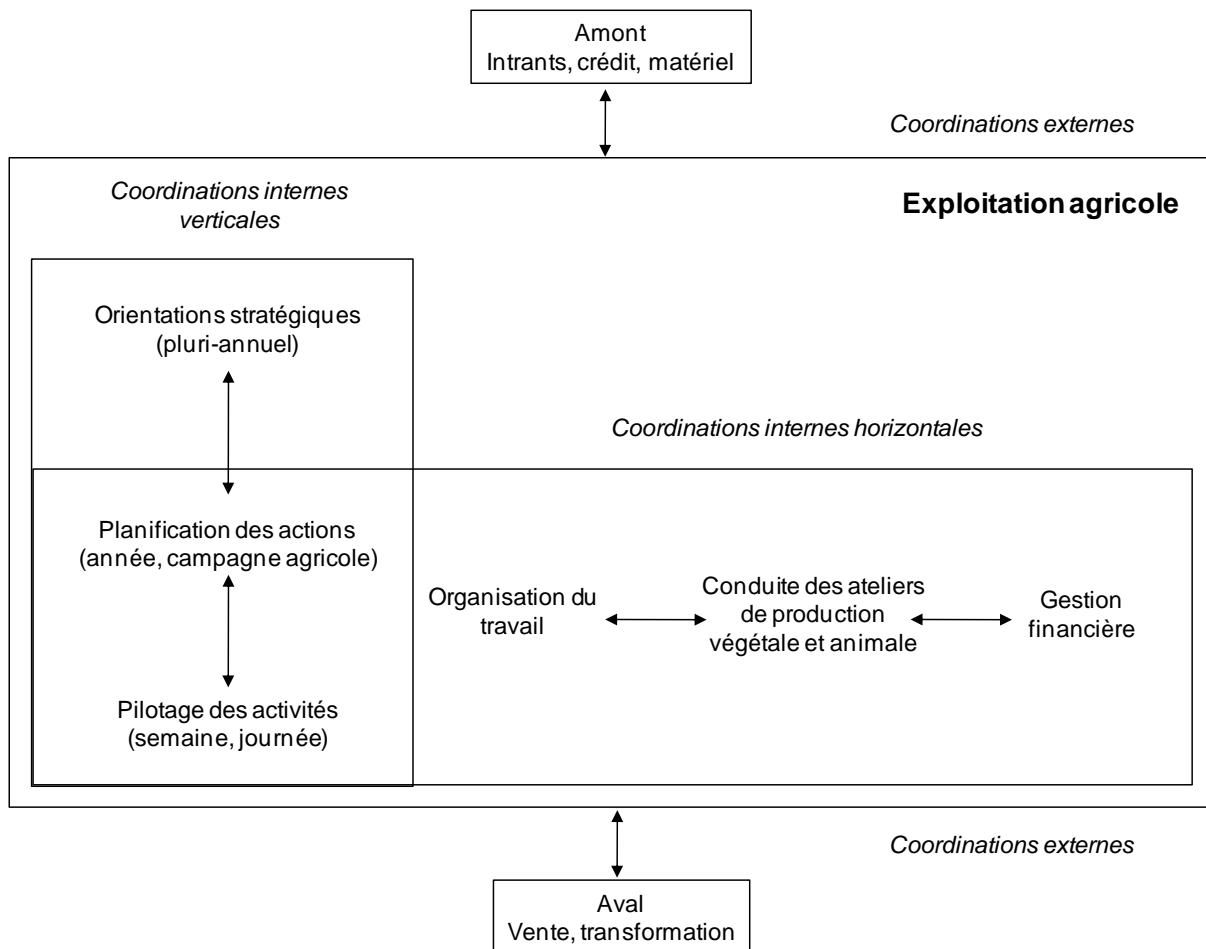


Figure 5. Représentation schématique de l'exploitation agricole en termes de processus de coordinations

Les coordinations externes renvoient au concept de *supply chain*, dont les exploitations représentent un maillon. Les coordinations internes, conçues et gérées par le chef d'exploitation en fonction de ses objectifs, cherchent à articuler deux dimensions :

(i) décisionnelle, avec la **coordination** (qualifiée ici de verticale) **entre pilotage, planification et orientations stratégiques**, niveaux décisionnels correspondant à des pas de temps différents mais interdépendants du fait de la mobilisation des mêmes ressources. Le producteur doit mettre en cohérence le dimensionnement (niveau stratégique) et l'utilisation (couple planification/pilotage) de ses ressources, alors que les horizons décisionnels, les critères à prendre en compte et les sources d'aléas diffèrent. L'organisation du travail en donne un exemple, où les choix d'investissement dans les équipements sont liés à la manière dont ils seront utilisés et des objectifs que se fixe le producteur en matière de calendrier et de qualité de travail.

(ii) fonctionnelle, avec la **coordination** (qualifiée ici d'horizontale car se situant à un même pas de temps) **entre les différentes fonctions à assurer pour planifier et piloter la gestion du système de production** mis en place. Ces fonctions concernent à la fois la conduite des ateliers végétaux et animaux, l'organisation du travail qui intègre l'ensemble des ateliers, et la gestion financière qui permet d'acquérir les ressources extérieures nécessaires au fonctionnement du système à partir des recettes obtenues par les ventes des productions. En règle générale l'analyse de ces fonctions demeure dissociée dans les travaux de recherche, pour des raisons tant disciplinaires que de difficultés à prendre en compte l'ensemble du système de production.

Le second cadre conceptuel est le fruit d'une réflexion collective conduite entre agronomes de la parcelle et agronomes / zootechnicien de l'exploitation agricole dans le cadre d'un atelier de travail de

l'IFR¹³ Ecosystem. Il fournit les bases méthodologiques d'une **activité de modélisation tournée vers la conception de systèmes de production innovants** [ACL 11, présenté en annexe 4]. Il prolonge la représentation exposée à la Figure 4 en décomposant le système de production en trois sous-systèmes en interaction : biophysique, technique et décisionnel (Figure 6). Cette représentation est applicable à des systèmes combinant productions végétales et animales. **Le sous-système biophysique** est composé des interactions entre éléments biologiques et physiques, tels que l'eau, le sol, les variables climatiques, les bio-agresseurs, et les processus de croissance et développement des plantes et animaux. Il s'exprime à l'échelle infra-parcellaire ou de l'animal. **Le sous-système décisionnel** inclue le concept de modèle d'action et renvoie au cadre présenté Figure 5 puisqu'il s'exprime à l'échelle de l'exploitation. Faisant le lien entre les deux, **le sous-système technique** renvoie aux concepts de pratique et d'itinéraire technique. Il traduit les décisions prises en actions, qui à leur tour modifient certains états et flux du sous-système biophysique. En retour les états du sous-système biophysique sont utilisés comme indicateurs par le sous-système décisionnel pour déclencher certaines actions techniques.

L'intérêt majeur de cette représentation est de chercher à intégrer les changements d'échelle et d'objets constitutifs du système de production, pour guider l'interfaçage des connaissances des chercheurs intervenant aux différents niveaux, avec ou sans modélisation commune. Les trois exemples utilisés dans l'article illustrent différentes manières d'utiliser ce cadre avec (i) un modèle conceptuel à base de règles portant sur la planification des cycles de salade et incluant les sous-systèmes décisionnels et techniques (Navarrete et Le Bail, 2007 ; modules), (ii) un modèle numérisé incluant les trois sous-systèmes pour concevoir des stratégies d'irrigation à l'échelle d'une exploitation agricole (Mérot et al., 2010) et (iii) un modèle numérisé représentant les sous-systèmes techniques et biophysiques pour concevoir des stratégies de gestion d'un troupeau laitier en rapport avec la gestion du système fourrager de l'exploitation [ACL 8].

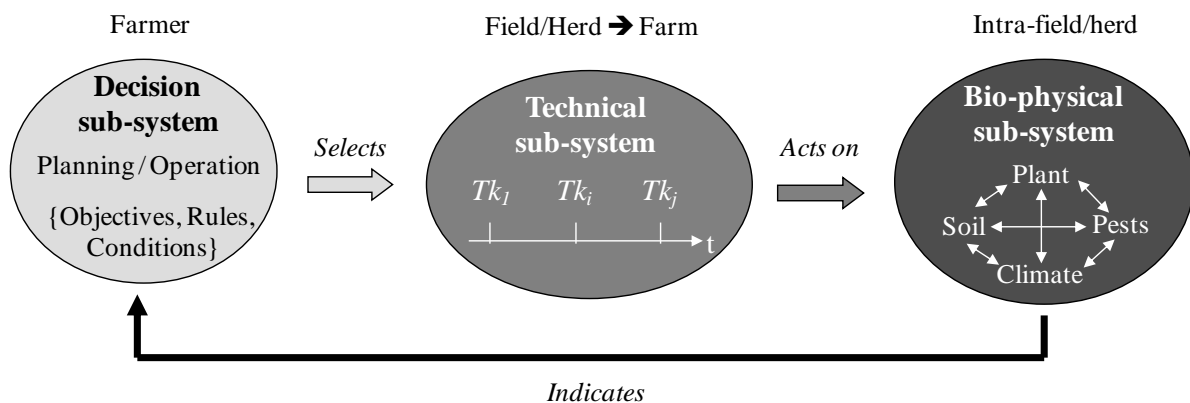


Figure 6. Représentation schématique d'un système de production agricole en trois sous-systèmes en interaction

Le sous-système décisionnel, représenté sous la forme de règles « Si Conditions Alors Action », sélectionne les actions techniques mises en œuvre dans le sous-système technique. Celles-ci agissent sur le sous-système biophysique dont elles modifient les états. Ceux-ci sont utilisés en retour pour actionner certaines règles de décision [source : ACL11].

1.2. Méthodes de recherche

Le fait de travailler en interaction directe avec des acteurs, en milieu non contrôlé, amène à utiliser des méthodes de recherche spécifiques, combinant des apports des sciences sociales pour l'étude des comportements des acteurs à des méthodes plus quantitatives, usuelles dans les sciences biotechniques. Le recueil des données et la façon de les collecter dépendent de leur disponibilité et de leur accessibilité sur le terrain. Dans les pays en développement où la majorité des producteurs sont analphabètes et n'enregistrent aucune donnée sur leurs pratiques, ces aspects représentent une contrainte majeure qui conditionnent nos méthodes d'investigation.

¹³ Institut fédératif de recherche

- Echantillonnage

L'atomisation des exploitations dans un territoire donné amène en général à échantillonner dans la population des cas qui seront plus précisément étudiés. Des méthodes statistiques éprouvées permettent de réaliser un tel échantillonnage, qui pourra être qualifié de représentatif de la population initiale. Je les ai rarement utilisées, leur préférant des méthodes plus empiriques conduisant à des échantillons raisonnés en fonction des questions étudiées, pour les raisons suivantes :

(i) **La compréhension des comportements des acteurs** est en général privilégiée à des approches descriptives basées sur des variables quantitatives, ce qui nécessite de passer un temps relativement important avec chaque cas étudié. De ce fait **les échantillons sont généralement réduits** (rarement plus de 30 exploitations étudiées) sachant que, les contraintes financières et de temps aidant, la taille de l'échantillon est inversement proportionnelle au nombre d'informations et de temps consacré à chaque cas.

(ii) Ces échantillons sont le plus souvent **construits à dire d'expert** (techniciens locaux, chefs de village, gestionnaires de périmètre, etc.), en l'absence de base de données de type « recensement agricole ». Lorsque l'investissement en vaut la peine (intervention dans la durée) nous pouvons réaliser ces recensements à l'échelle d'un territoire donné, tel qu'un périmètre irrigué [ACL 2].

(iii) Les exploitations retenues sont choisies de façon à **couvrir une large diversité**, sur la base des hypothèses faites sur les critères de différenciation liés à la question étudiée, et non pour leur représentativité statistique. Un type d'exploitation peu représenté dans la population initiale pourra être surreprésenté dans l'échantillon si sa situation est potentiellement riche d'enseignements.

(iv) Les producteurs contactés doivent **montrer un intérêt pour l'intervention** qui leur est proposée. Cet intérêt étant mis à l'épreuve en cours d'étude, il n'est pas rare d'avoir des défections.

- Collecte des informations

L'enquête représente l'outil essentiel de collecte des informations auprès de l'échantillon étudié. Dans nos contextes d'intervention, elle est souvent couplée à des **dispositifs de suivi des pratiques** des producteurs, comprenant des relevés réguliers de variables quantitatives que ceux-ci ont du mal à se remémorer lors d'un entretien sur un ou deux passages (ex : pour chaque parcelle, cultures réalisées, dates d'intervention, doses d'intrants utilisées, productions obtenues). Ces suivis sont alors réalisés par des enquêteurs appointés à cet effet et résidant non loin des producteurs. Parallèlement à cette collecte de données factuelles, **des entretiens** sont conduits selon un protocole inspiré du concept de modèle d'action et comprenant les étapes suivantes :

. un premier passage avant la campagne agricole permettant de prendre connaissance de l'exploitation (structure générale, problèmes rencontrés, éventuels projets) et de reconstituer le plan prévisionnel que le producteur compte suivre lors de la campagne à venir ;

. Un suivi des pratiques en cours de campagne, permettant de relever les actions effectivement mises en œuvre par le producteur ;

. Des entretiens basés sur la comparaison entre le réalisé et le plan, permettant à la fois de mieux préciser ce dernier et d'évaluer la façon dont les aléas rencontrés en cours de campagne pèsent sur sa réalisation ;

. Un bilan en fin de campagne permettant de mettre en regard les objectifs du producteur (qui émergent en général des différents entretiens précédents), les performances observées et les liens avec les décisions prises. Ce bilan fournit la base pour la phase ultérieure d'aide à l'action.

- Analyse des données

Ce type d'enquêtes rassemble des données quantitatives et des informations qualitatives, nombreuses par cas mais sur un nombre réduit de cas. L'analyse des données passe par différents outils cherchant, d'une part, à structurer la diversité des comportements observés, d'autre part, à expliquer les liens entre comportements, pratiques et performances :

. **des statistiques simples** (moyennes, écart-types, histogrammes de fréquence) sur les variables quantitatives, permettant de décrire la diversité interne à l'échantillon et de replacer chaque cas par rapport à l'ensemble et par rapport à des références externes ;

. **la mise en évidence des processus de décision explicatifs de la diversité des pratiques** et des performances observées. La comparaison entre exploitations permet de définir de grandes catégories, elles-mêmes rattachables à d'autres études similaires ;

. **la compréhension** au cas par cas **de la cohérence interne de l'exploitation**, entre objectifs, stratégies, contraintes structurelles et facteurs favorables, et modalités de fonctionnement ;

. **la construction de typologies** permettant d'organiser les facteurs explicatifs de la diversité des exploitations en rassemblant des critères d'ordres divers : structure, stratégies de production, fonctionnement, voire performances¹⁴.

La construction de ces typologies repose sur différentes méthodes. Les outils statistiques multi-variés couplés à des méthodes de classification hiérarchique, présentent l'avantage apparent de fournir une représentation « objective » de la diversité au sein d'un jeu de données. Mais, d'une part, cette objectivité est dépendante du choix des variables effectués par l'observateur, d'autre part, les produits qui en résultent ne font souvent que confirmer les hypothèses initiales ou les résultats obtenus par des méthodes plus intuitives, du fait précisément du choix orienté des variables. Enfin ces méthodes tiennent mal compte d'éléments tels que les objectifs, stratégies et projets des producteurs, qui sont pourtant centraux dans la différenciation et la cohérence interne des exploitations agricoles.

Les méthodes développées par les agronomes partent plutôt de la connaissance et de la compréhension du fonctionnement des exploitations. Elles se basent sur l'agrégation des cas individuels autour de types définis à partir d'enquêtes, en fonction de caractères de fonctionnement discriminants et des trajectoires entre types (Capillon et Manichon, 1979), ou de pôles préalablement définis par des experts de la zone étudiée (Perrot *et al.*, 1995). Ces méthodes ont été conçues pour fournir une représentation de la diversité régionale permettant au conseil agricole de mieux ajuster son offre aux différents types. Pour ma part, je les ai utilisées pour **modéliser la diversité des exploitations à l'échelle de périmètres irrigués ou de bassins d'approvisionnement**, en rapport avec des questions précises (gestion de l'eau, gestion des flux de matière première agricole) qui ont orienté les typologies construites.

- Validation des connaissances

Les connaissances produites dans ces travaux analytiques relèvent à la fois de la **description** (des pratiques, de la diversité des exploitations) et de **l'explication des comportements observés**. Elles sont dépendantes à la fois de l'observateur, de la dynamique de ses interactions avec les acteurs observés, de la nature des acteurs (qui ne sont pas représentatifs d'une situation donnée, mais dont la somme représente une certaine diversité), du protocole suivi, et de la période d'étude à laquelle sont liées les caractéristiques de la campagne agricole (pluviométrie par exemple) et le contexte économique (niveaux de prix des intrants et des matières premières agricoles par exemple).

Les processus de validation de ces connaissances s'inspirent d'une **épistémologie constructiviste**¹⁵, courante en sciences sociales et se démarquant du positivisme en vigueur dans les sciences de la nature. Alors que ce dernier stipule l'existence d'une Vérité que la science cherche à découvrir à travers une indépendance entre l'objet étudié et l'observateur, le constructivisme part du principe que la réalité n'existe pas par elle-même mais à travers les représentations que s'en font ceux qui la vivent ou l'analysent (Martinet, 1990). La science a alors pour but de concevoir des représentations pertinentes par rapport à l'expérience et au projet du sujet étudié, à savoir utiles au sujet pour construire ces stratégies d'action et à même d'intégrer, dans une totalité cohérente, l'ensemble des phénomènes observés (Mouchot, 1990).

¹⁴ Il est parfois difficile d'établir des liens clairs de cause à effet entre fonctionnement et performances du fait du poids des aléas climatiques sur les rendements des cultures en situation pluviale, ou des maladies en productions animales.

¹⁵ Résumée par la formule de Bachelard (1977) : « *Rien ne va de soi. Rien n'est donné. Tout est construit* ».

Concrètement le processus de construction et de validation des modèles explicatifs proposés passe par plusieurs étapes :

- . mise à plat des faits tant quantitatifs (dates d'intervention, pratiques culturelles, performances diverses) que qualitatifs (comptes rendus d'entretien) ;
- . recoupements entre les faits et les discours pour la reconstitution d'un modèle d'action par exemple, afin d'établir les relations entre processus de gestion, pratiques et performances (Figure 4) ;
- . analyse de la régularité des phénomènes observés, au sein de l'échantillon et sur plusieurs années lorsque cela est possible ;
- . construction d'un modèle explicatif à partir des concepts et processus tirés de situations similaires de gestion, en réintégrant l'ensemble des phénomènes observés dans le modèle.
- . mise à l'épreuve du modèle avec différents acteurs : les acteurs enquêtés, des experts locaux, les pairs à travers les publications. Dans les deux premiers cas, il s'agit bien d'évaluer la capacité du modèle à rendre compte des processus observés. Sa capacité pour l'aide à l'action passe, dans mon cas, par une étape supplémentaire de modélisation numérisée qui sera traitée en troisième partie.

1.3. Un exemple : l'analyse de la dynamique d'exploitations laitières au Brésil

J'ai mobilisé ces concepts et méthodes de recherche tout au long de ma carrière, depuis mes premiers travaux au Niger portant sur l'analyse des comportements des producteurs face à un épisode de sécheresse sévère [ACL 1] jusqu'à des travaux récents sur la dynamique d'exploitations laitières familiales au Brésil, utilisé pour illustrer ici ce type d'approche [ACL 14, présenté en annexe 1].

- Problématique

Cette étude a été réalisée dans le cadre de la thèse de Jennifer Bernard que j'ai co-encadrée avec C.H. Moulin au sein de Sibaghe (DOC 3), en tant que composante d'un processus d'aide à la conception de systèmes de production. Il s'est agi dans un premier temps de **caractériser et comprendre la diversité des choix stratégiques et tactiques opérés par des producteurs laitiers** concernant tant le dimensionnement de leur système (taille du troupeau, assolement) que la gestion du système fourrager et du troupeau tout au long de l'année, **face à un modèle de production** diffusé dans la zone d'étude et supposé procurer un revenu décent à une exploitation laitière familiale. Cette problématique rejoint celle, plus générale, de l'analyse de la diversité des comportements des producteurs face aux modèles de production uniformes promus par les organismes de développement.

- Méthodes de recherche

L'étude a été réalisée sur un petit échantillon, à savoir six exploitations choisies de manière à couvrir une gamme de situations pertinentes par rapport à l'objectif de modélisation d'accompagnement porté par le projet de recherche : ancienneté de l'installation de l'exploitation et du démarrage de la production laitière, structure du troupeau (taille et génétique), gestion du système fourrager (pâturage et fourrage distribué).

La collecte des informations nécessaires à l'analyse a combiné des entretiens individuels visant à comprendre les objectifs et logiques d'action du producteur avec un suivi sur un an de certaines variables agronomiques et zootechniques afin de les quantifier lorsqu'elles n'étaient pas enregistrées par le producteur ou la laiterie : composition du troupeau, mouvements des animaux sur les parcelles pâturées, productions de lait et rations distribuées par vache, inséminations et vêlages, opérations culturelles et trésorerie (vente de lait et de viande, achat d'intrants, prestations de services). Cette collecte visait tant à préciser les déclarations du producteur qu'à fournir des données chiffrées pour caractériser les scénarios ultérieurs.

- Résultats

Le modèle de production a d'abord été reconstitué à partir des différents messages technico-économiques diffusés par l'environnement institutionnel des exploitations (coopérative de collecte, structures de conseil et de recherche). Ce modèle vise à atteindre une production de 300 l/j livrés au collecteur, à partir d'un troupeau de 26 vaches de matériel génétique croisé (Gyr-Holstein) fournissant jusqu'à 20 l/j/tête. Le système fourrager comprend du pâturage de *Bracharia* en saison des pluies, recevant une fertilisation minérale pour atteindre 20 t MS/ha, et de la canne à sucre ou de l'ensilage de maïs ou sorgho en saison sèche, distribué *ad libitum*. Des concentrés viennent compléter ces rations.

Nous avons ensuite constaté que, même sur un échantillon aussi réduit, **aucune des exploitations ne se conformait strictement au modèle proposé**. Trois types ressortaient, basés sur des objectifs et stratégies différents. Un premier groupe composé de 3 exploitations (F1, F3, F6) suivait dans les grandes lignes la logique et les pratiques du modèle avec des objectifs de croissance de leur production allant même au-delà du volume envisagé par le modèle (jusqu'à 500 l/j). Un second groupe de deux exploitations (F2, F5) produisant autour de 70 l/j se proposait d'atteindre l'objectif du modèle par étape, en passant par une phase à 150 l/j. Leurs pratiques gestionnaires étaient en cohérence avec cette stratégie : croissance interne du troupeau, adaptation de leurs investissements dans les pâturages et cultures fourragères à la trésorerie dégagée par l'activité laitière. Le troisième groupe, composé d'une exploitation (F4), s'écartait de la spécialisation laitière en vogue dans ces petites exploitations issues de la réforme agraire brésilienne, pour lui préférer une stratégie de diversification combinant un élevage mixte lait-viande avec des cultures de vente.

Trois processus expliquent cette diversité :

(i) **Des différences de synchronisation entre les investissements collectifs nécessaires à la production laitière** (piste, raccordement électrique et installation d'un tank collectif) **et les investissements individuels dans un troupeau laitier**. Ainsi les exploitations telles que F1 et F3 qui se sont installées après la mise en place d'un tank collectif ont pu investir leurs aides à l'installation dans la spécialisation laitière (Figure 7). F6 a procédé différemment, en bénéficiant du tank d'un voisin qui lui a permis de se spécialiser en lait bien avant que le tank collectif ne soit installé dans sa communauté.

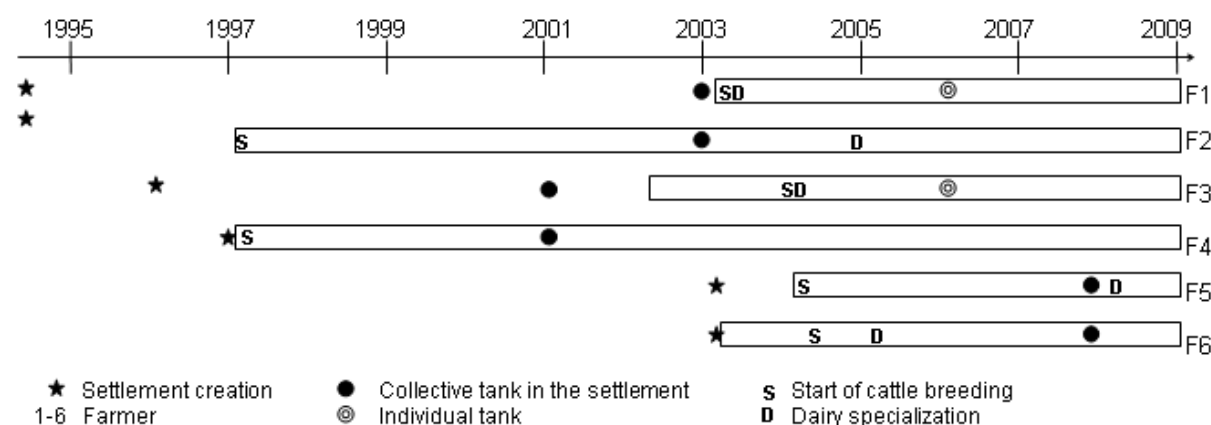


Figure 7 : Trajectoires des six exploitations laitières étudiées dans le Municipale d'Unai (Brésil)
 Chaque barre représente l'historique d'une exploitation depuis son installation. Différents événements y sont positionnés relevant du collectif (création de la communauté, mise en place d'un tank collectif) et de l'exploitation elle-même (démarrage de l'élevage, spécialisation laitière, achat d'un tank individuel) (source : ACL 14).

(ii) **Les orientations stratégiques choisies par chaque producteur en fonction de son intérêt pour la production laitière**, notamment en terme économique. La Figure 8 montre que la marge brute dégagée par vache augmente avec le degré de spécialisation dans la production laitière. La stratégie de diversification de F4 se traduit ainsi par une faible consommation d'intrant conduisant à une moindre productivité par vache, mais également une moindre dépendance économique envers la filière laitière. À l'inverse F1 valorise au mieux ses investissements dans l'atelier lait.

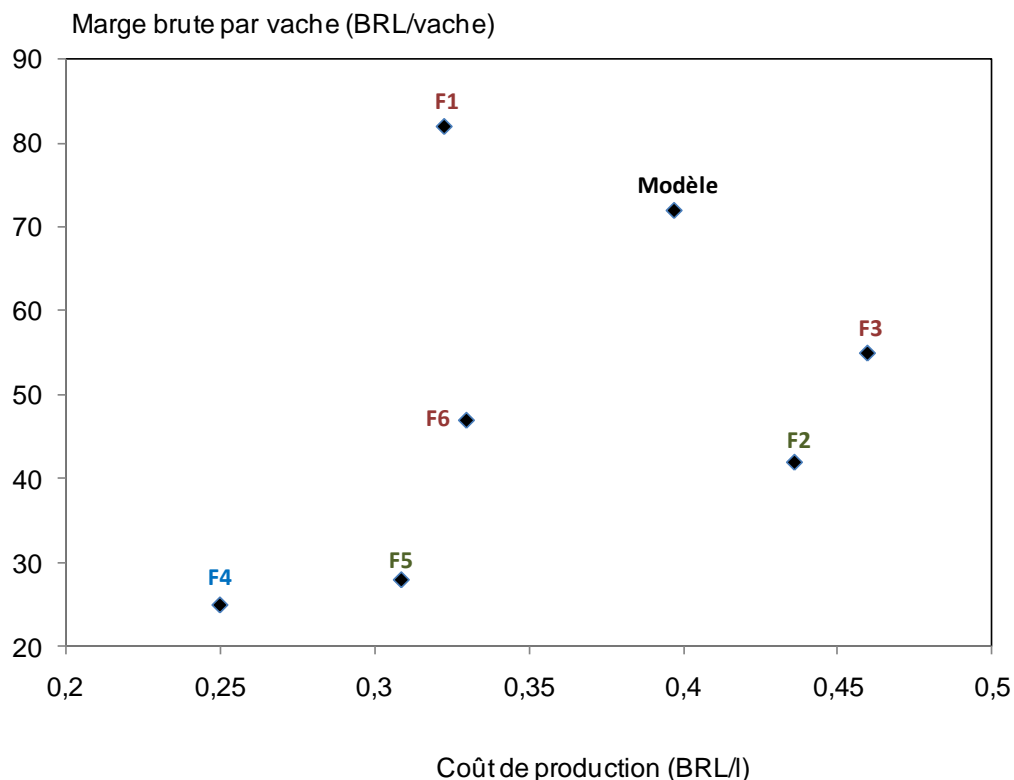


Figure 8 : Relations entre le coût de production par litre de lait et la marge brute par vache sur les six exploitations laitières étudiées dans le municiple d'Unai (Brésil)
(source : ACL 14)

(iii) **Une maîtrise variable de la conduite technique des élevages et des surfaces fourragères** perceptible à travers les performances économiques présentées dans la Figure 8 (comparaison entre F1 et F6 par exemple) et identifiées lors de l'étude : allongement des intervalles entre vêlage, rations déséquilibrées, offre fourragère insuffisante ou au contraire en excédent, qualité variable du lait conduisant à des primes elles-mêmes variables. Ces pratiques concourent à déstabiliser certaines exploitations (F2 et F3) dont les résultats économiques ne permettent plus d'assurer la couverture des charges de production. Ces résultats illustrent le fait que **la typologie proposée ne présage pas totalement des performances des élevages** dans la mesure où elle n'intègre pas explicitement le savoir-faire des producteurs. L'accent est mis sur les stratégies, mais l'analyse plus fine des pratiques met en évidence les écarts entre les objectifs visés et les résultats effectifs.

- Discussion

Le cas brésilien est venu renforcer les conclusions déjà montrées avec le cas marocain, à savoir que **de petites exploitations familiales peuvent s'insérer efficacement dans un bassin d'approvisionnement laitier de type agro-industriel** [ACL 17] et en retirer un revenu régulier, auquel viennent s'ajouter les revenus tirés de la vente des veaux [ACL 9]. Pour le collecteur, la diversité de ces exploitations cadre mal avec un modèle de production uniforme, ce qui complique la mise en évidence de marges de manœuvre et l'identification de leviers d'action adaptés. Certaines exploitations, comme F4 au Brésil, seront *a priori* peu sensibles à des messages productivistes. Mais celles qui montrent un intérêt pour une stratégie de spécialisation laitière ne rencontrent pas nécessairement les mêmes difficultés ni ne présentent les mêmes potentialités. Ces observations sont à l'origine des travaux sur la modélisation d'accompagnement et l'aide à la conception de systèmes de production vu sous l'angle d'un conseil individuel apporté à des producteurs réfléchissant à leurs projets futurs.

2. Coordinations entre acteurs pour la gestion collective des systèmes de production

Les travaux exposés dans la section précédente sont centrés sur le producteur au sein de son exploitation agricole. L'environnement amont (fourniture d'intrants et de services) et aval (commercialisation des productions) avec lesquels le producteur entretient des relations sont considérés comme des éléments de contexte dont les effets sur ses décisions sont éventuellement étudiés. Or, lors de mon séjour dans le delta du fleuve Sénégal, j'ai constaté **le poids des interactions entre producteurs et acteurs intervenant dans le fonctionnement d'un périmètre irrigué**, pour tout ce qui touchait la gestion de leur système rizicole : accès à l'eau bien sûr, mais également aux équipements motorisés, au crédit pour l'achat d'intrants, etc. Partant de ce constat, j'ai considéré ces interactions autour de ressources partagées comme **un objet d'étude en soi**, à la fois pour mieux comprendre leurs conséquences sur le fonctionnement des exploitations individuelles et comme leviers d'action pour améliorer les performances collectives et individuelles des systèmes de production étudiés.

Cette évolution de mes objets d'étude a d'abord nourri ma thèse de doctorat, portant sur **l'organisation collective du travail dans un système de double riziculture irriguée** [ACL 2, OS 1, OS 2, OS 3, OS4, OS 6]. L'intérêt de cette approche m'a ensuite amené à étendre mes questionnements à **la gestion des périmètres irrigués collectifs** [ACL 5, ACL 12, ACLN 3, ACLN 4, ACLN 5], puis à **la gestion des bassins d'approvisionnement agro-industriels**, d'abord en canne à sucre [ACL 4, ACL 15, ACLN 6, ACLN 8] puis en lait [ACL 17]. Mes travaux au Maroc m'ont permis d'intégrer dans un même cadre conceptuel les deux objets « périmètre » et « bassin d'approvisionnement » [ACL 8, ACL 17]. Tous ces travaux ont été couplés à des démarches de modélisation et d'aide au changement, exposées en troisième partie.

2.1. Emprunts conceptuels

La prise en compte de contextes multi-acteurs m'a amené à emprunter à l'économie et aux sciences de gestion des concepts nécessaires pour mieux appréhender ces situations. Sans rentrer dans le détail des théories utilisées dans ces champs disciplinaires, j'ai retenu quelques éléments exposés ci-après, qui m'ont paru importants pour analyser les situations que j'étudiais avec ma position d'agronome intéressé par la compréhension des choix techniques des producteurs :

. **La notion d'organisation** (Ménard, 1990), entité caractérisé par un ensemble de participants adhérant volontairement à des règles du jeu pour atteindre un ou plusieurs objectifs partagés. Ces règles sont modifiables sous l'influence de contraintes externes ou internes, donnant la flexibilité nécessaire à l'organisation pour s'adapter à son environnement et aux conflits internes.

. Ces conflits proviennent pour partie de **l'incertitude** générée par chaque membre de l'organisation et par son environnement (Crozier et Friedberg, 1997 ; Courbon, 1982). Les règles instituées ont pour objet de réduire cette incertitude et, par là même, la complexité des décisions à prendre pour permettre l'action (Midler, 1990), dans un contexte de rationalité limitée des décideurs (Simon, 1976).

. L'ensemble des règles constituent une procédure de **coordination entre acteurs** au sein de l'organisation. Elles relèvent de différentes composantes : règles d'allocation des ressources aux différentes activités en fonction de modalités spécifiques, mécanismes incitatifs, gestion de l'information et procédures de contrôle, en relation avec une structure hiérarchique.

L'utilisation de ces concepts au Sénégal a nécessité quelques adaptations liées aux caractéristiques des situations de gestion que j'ai étudiées, à savoir des unités de production juridiquement indépendantes (les exploitations agricoles) mais en interaction au sein d'une supra-organisation (périmètre irrigué, groupement de matériel en commun) gérée par une association de producteurs ou une agence parapublique. Dans ces cas, les notions de règles, de contrat, d'autorité et de contrôle prennent des contours beaucoup plus flous et nécessitent des enquêtes parfois longues pour être comprises, couplées à des observations directes sous la forme de suivis de parcelles ou de réseau hydraulique.

Ce type d'organisation associant indépendance et interactions entre acteurs se retrouve avec les bassins d'approvisionnement associant un agro-industriel s'approvisionnant auprès d'un ensemble d'exploitations agricoles. Dans ce cas le concept de **supply chain management** m'est apparu pertinent pour rendre compte des questions à traiter. Il se définit comme la gestion des relations coordonnées entre fournisseurs, industriels, distributeurs et commerçants assurant la transformation d'une matière première en des biens de consommation finale le long d'une chaîne logistique (Beamon, 2005). Les coordinations verticales au sein de la *supply chain* sont supposées dégager des gains supérieurs à ceux obtenus d'une coordination purement marchande (Eliashberg and Steinberg, 1987 ; Johnston and Lawrence, 1988). Elle concerne à la fois la planification et le contrôle des flux de matière première et d'information et les activités logistiques proprement dites au sein de la chaîne (Chen and Paulraj, 2004 ; Croom *et al.*, 2000).

Ces questions sont en général traitées sur des cas industriels comprenant des fournisseurs peu nombreux, éventuellement dispersés sur plusieurs pays et disposant d'un bon niveau d'information et de contrôle de leurs process (Shah, 2005). Mon approche appliquée à des industries agroalimentaires de première transformation (lait, sucre) se distingue de ces situations à plusieurs titres :

(i) je me limite au **bassin d'approvisionnement d'unités de transformation agro-industrielle** (sucrierie, laiterie), à savoir la partie amont de la *supply chain*. Ce bassin se définit comme l'espace délimité géographiquement par l'unité agro-industrielle et l'ensemble des parcelles des producteurs qui la fournissent en matière première. Cet espace comprend **trois dimensions** (Le Bail, 2005) : **technique**, constitué des parcelles avec leurs caractéristiques physiques et leurs systèmes de culture, **décisionnelle**, concernant les choix techniques réalisés par les producteurs au sein de leurs exploitations et par l'industriel pour son unité de transformation, **de négociation** pour ce qui est des modes de coordination entre producteurs et industriel (contrats, règles de gestion de l'approvisionnement, modalités d'évaluation des lots, systèmes de paiement de la matière première).

(ii) **l'atomisation des exploitations agricoles**, l'hétérogénéité des lots livrés en quantité et qualité et la saisonnalité des productions, sont sources d'incertitudes et d'aléas dans l'organisation des approvisionnements des unités de transformation et induisent des outils de coordination spécifiques ;

(iii) **le caractère périssable de la matière première agricole** et la complexité de ses caractéristiques biologiques influencent les modes d'évaluation et de suivi des lots.

La démarche de recherche adoptée s'est inspirée de la recherche-intervention, en privilégiant des cas de périmètres ou de bassins d'approvisionnement où les acteurs montraient un intérêt pour l'offre de recherche qui leur était faite. Les méthodes d'observation ont été identiques à celles exposées en section 1.2, auxquelles est venue s'ajouter **l'utilisation des bases de données individuelles** détenues par les gestionnaires de périmètres (lorsqu'elles existaient) ou les unités de transformation industrielles. Ces bases sont précieuses car elles fournissent une vision exhaustive des exploitations agricoles incluses dans l'organisation collective, mais la plupart du temps réduite aux données accessibles par le gestionnaire ou l'industriel : consommations en eau, surfaces irrigables, volumes livrés en quantité et qualité. Accéder à ces bases est conditionné par l'accord de leurs détenteurs. Cet accord ne peut être obtenu sans établir un lien de confiance et de crédibilité entre acteurs et intervenants, à travers la fourniture d'éléments de réponses aux questions que se posent les acteurs.

Les quatre exemples suivants illustrent les méthodes plus spécifiques et les résultats obtenus dans ce champ de la gestion collective des systèmes de production. Le premier s'appuie sur mes résultats de thèse, à l'origine de l'ensemble de ces travaux. Le second présente un cadre général de représentation de la gestion des périmètres irrigués collectifs, à la fois produit et support de mes travaux dans ce domaine. Le troisième montre comment a été conceptualisée la gestion d'un bassin d'approvisionnement sucrier, support au travail de modélisation et d'accompagnement ultérieur. Le quatrième (en cours) propose une synthèse conceptuelle entre périmètres irrigués et chaînes d'approvisionnement agro-alimentaire.

2.2. Gestion collective d'un système de double riziculture annuelle

(Pour plus de détails, voir l'article ACL 2 tiré de ce travail de thèse en annexe 2)

- Problématique

Dans le delta du fleuve Sénégal la double culture consiste en la **succession de deux cultures de riz la même année sur les mêmes parcelles**. Elle a été fortement promue par l'Etat sénégalais et les bailleurs de fonds dans les années 1990s comme un moyen d'augmenter la valorisation des périmètres irrigués et les revenus des producteurs. Ceux-ci sont néanmoins confrontés à **un problème d'organisation collective du travail**, dans la mesure où les deux cycles se chevauchent en juillet-août et qu'un retard des semis au delà du 15 août augmentent les risques de chute de rendement par stérilisation des épillets (Dingkhun *et al.*, 1996). Ce problème se traduit en ces termes : comment respecter le calendrier cultural optimal en coordonnant les décisions individuelles de semis puis de drainage des parcelles avant récolte, avec les interventions collectives concernant la gestion de l'eau à l'échelle du périmètre (essentiellement le choix de la date de démarrage de la station de pompage), et la conduite des opérations mécanisées à l'aide d'équipements partagés (tracteurs, moissonneuses-batteuses) entre un grand nombre de producteurs ?

- Méthode de recherche

En l'absence de données objectives sur le déroulement des campagnes agricoles, la méthode suivie a consisté à suivre exhaustivement sur les parcelles de deux périmètres irrigués le déroulement des travaux depuis la récolte du précédent jusqu'à l'installation du suivant (Figure 9). Ces suivis ont été combinés à des entretiens avec les gestionnaires des périmètres, les responsables des équipements et un échantillon de producteurs¹⁶ pour (i) reconstituer leurs plans prévisionnels d'action et (ii) les confronter aux réalisés afin de faire ressortir les aléas rencontrés et les réponses données par les acteurs. S'agissant d'un problème d'organisation du travail, la grille d'analyse mise au point par Attonaty *et al.* (1993) tiré du concept de modèle d'action a été utilisée pour structurer l'ensemble de la démarche d'enquête. Les données quantitatives (calendriers, performances des matériels, rendements des parcelles) et qualitatives (processus de décision et de coordination) ont ensuite été analysées séparément, puis combinées pour identifier les relations entre décisions et performances. La comparaison des trois années d'enquête a mis en évidence les processus d'apprentissage des gestionnaires et permis de construire un modèle explicatif des observations réalisées.

¹⁶ Dans un premier temps des producteurs ont été enquêtés du fait de leurs pratiques atypiques en termes de choix variétaux, de date de drainage ou de récolte. En dernière année un échantillon diversifié de 35 producteurs a été choisi pour élargir la base d'enquête.

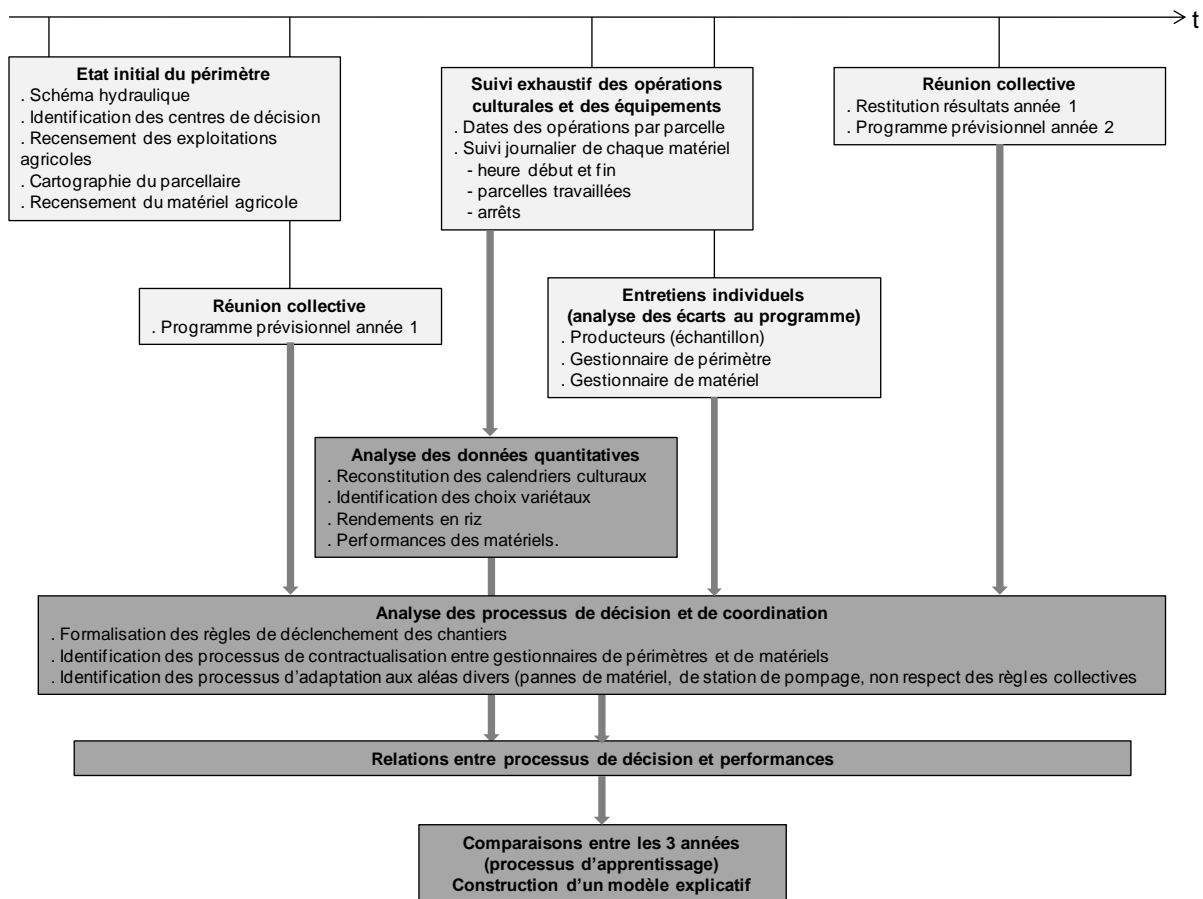


Figure 9. Processus de collecte et d'analyse des données concernant l'étude de la gestion collective de l'organisation du travail au Sénégal

L'organisation de la collecte des données pour la première année est représentée en gris clair, l'analyse en gris foncé. Le schéma a été répété sur trois ans (hors état initial du périmètre). La comparaison entre les trois années a permis de caractériser les processus d'apprentissage des acteurs et de construire un modèle explicatif des processus observés.

- Résultats

La Figure 10 montre que le taux de double culture sur un même périmètre peut varier fortement d'une année à l'autre, avec parfois une diminution des surfaces mises en culture en saison principale (taux inférieur à 100 %). Ces variations dénotent **une mauvaise maîtrise des calendriers de travail**, avec des retards dans le démarrage des récoltes du précédent, des successions séquentielles de chantier entre récolte et préparation du sol et une forte variabilité des débits de chantiers d'un jour à l'autre (Figure 11). Ces dysfonctionnements sont liés aux **nombreuses incertitudes générées par les acteurs** (producteurs, gestionnaire de l'eau, gestionnaire des équipements agricoles), et la façon dont les associations de producteurs, chargées de coordonner l'ensemble, y répondent.

Par exemple les producteurs n'ont aucune certitude de la date exacte de récolte de leurs parcelles, qui dépend de la vitesse d'avancement du chantier de récolte mécanique dans les mailles hydrauliques relevant de leur village. De ce fait ils préfèrent retarder au maximum la date de drainage de leurs parcelles, de manière à garantir aussi longtemps que possible l'alimentation hydrique de leur riz et amener à maturité les dernières panicules produites, retardant d'autant la date à laquelle leur parcelle est portante. De leur côté les prestataires de service peuvent difficilement garantir une date de passage aux associations de producteurs avec lesquelles ils passent contrat. Un tiers à la moitié des journées potentielles de travail sont en effet perdus pour des pannes de matériel ou des prestations hors périmètre. Cette variabilité, en grande partie due à un manque d'entretien, de pièces détachées et de capacités financières pour l'achat des pièces, voire du carburant, rend toute

planification des travaux aléatoire.

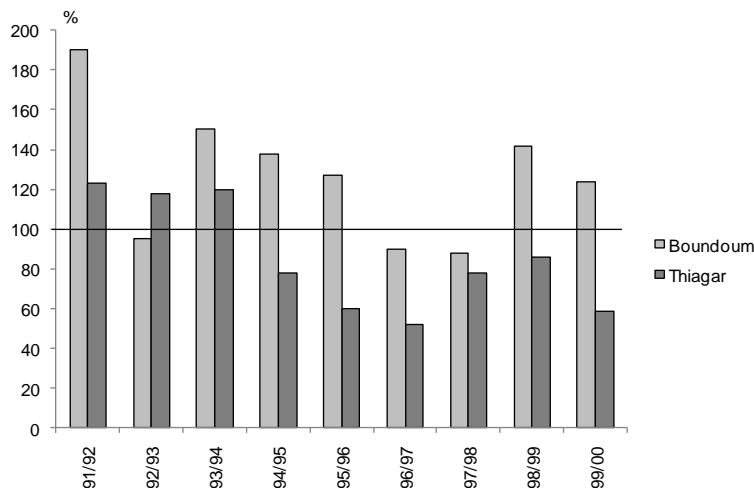


Figure 10. Evolution du taux de double culture à Boundoum et Thiagar (1991-2000)

Les taux supérieurs à 100% indiquent qu'une partie des parcelles a été cultivée deux fois en riz durant l'année n. Les taux inférieurs à 100% indiquent que certaines parcelles n'ont pas été du tout cultivées durant l'année n (source : OS 6).

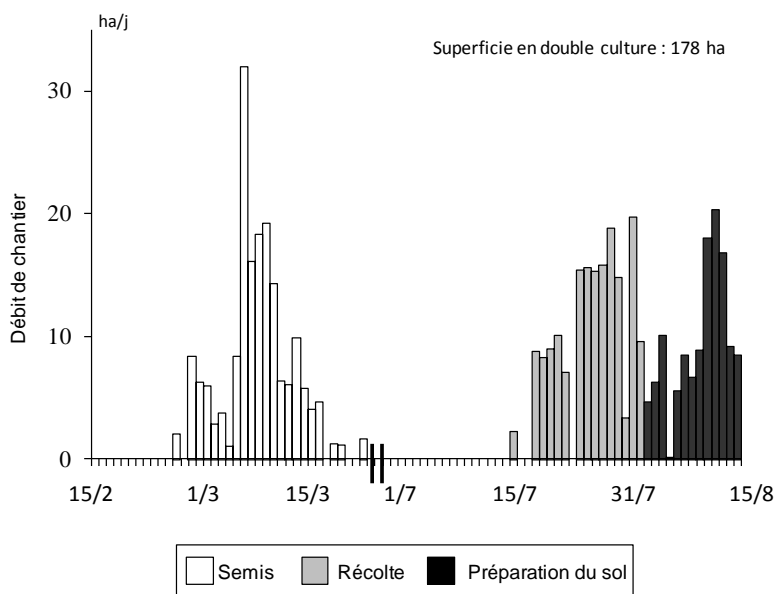


Figure 11. Calendrier de travail en double culture à Ndiethene en 1992

Chaque barre verticale représente le nombre d'hectare réalisés pour une intervention culturale un jour donné sur l'ensemble du périmètre (source : ACL 2).

Les processus de coordination mis en place par les associations de producteurs cherchent à répondre à ces conditions incertaines. Ils ont évolué avec le temps en fonction des résultats des campagnes précédentes. Même s'il est difficile de s'en assurer, l'intervention et les restitutions réalisées chaque fin de campagne ont probablement contribué à ces apprentissages car elles ont permis de chiffrer et de mémoriser le déroulement factuel des campagnes, les décisions prises et les liens entre ces deux composantes.

Trois stratégies complémentaires et diversément adoptées selon les villages ont été identifiées au sein du modèle explicatif proposé : **la contractualisation des relations avec les prestataires de service, la simplification des problèmes posés et l'ajustement aux aléas rencontrés.** La contractualisation s'est essentiellement traduite par la fourniture du monopole des prestations aux

entreprises de travaux agricoles du village, solution qui donne plus de visibilité aux capacités de chantier sur lesquelles baser un processus de planification, puisque le nombre potentiel de machines disponibles est alors connu. Le problème de l'hétérogénéité des états parcellaires a été simplifié en centralisant la décision de démarrer le chantier de récolte au niveau de l'association gestionnaire de l'ensemble du périmètre, une fois 80% des parcelles parvenues à maturité. Ce faisant, les risques de rupture de chantier du fait de parcelles peu portantes ont été limités et la vitesse du chantier a pu augmenter. L'irrégularité des performances des moissonneuses-batteuses a amené les associations à déroger à la règle du monopole et à la centralisation des décisions, en laissant chaque sous-association prospecter des prestataires extérieurs aux villages, de façon à compléter la flotte de moissonneuses-batteuses et à accélérer la vitesse d'avancement de la récolte.

- Discussion

Malgré les tentatives de meilleure coordination entre acteurs, cet exemple a montré que dans les conditions de mise en place de cette innovation (faible expérience des acteurs, complexité du système collectif de production, stratégies de diversification individuelle des producteurs vers d'autres aménagements hydro-agricoles), les gestionnaires des périmètres privilégiaient l'ajustement aux aléas rencontrés en cours de campagne. Les « contrats » passés avec les prestataires de service et les producteurs ne se sont pas avérés suffisamment structurés et contraignants pour lever le poids des incertitudes générées par chacun et construire un projet collectif autour de la double culture. **Cette prééminence du pilotage sur la planification des activités agricoles** a rendu hasardeuse sa réussite, d'autant que le système d'information utilisé par les gestionnaires pour suivre l'avancée des travaux s'est révélé également déficient. Bien que considérée, sur la base d'une vision à la parcelle, comme techniquement réaliste et faisable par les bailleurs de fonds et les organismes de développement, la double culture s'est avérée difficile à gérer une fois déployée sur des surfaces significatives où interagissaient un grand nombre d'acteurs.

2.3. Cadre de représentation de la gestion des périmètres irrigués collectifs

Ce travail de thèse m'ayant sensibilisé au poids de la gestion collective sur les comportements et performances des producteurs individuels, j'élargissais mes recherches à la manière dont fonctionnent les différentes entités composant un périmètre irrigué pour accompagner des changements aux échelles tant collectives qu'individuelles. J'ai alors conduit des travaux prenant **la gestion des périmètres comme objet d'étude**, en croisant mon regard d'agronome intéressé par les interactions entre acteurs autour la transformation de la ressource en eau en productions végétales au sein de l'espace du périmètre et des exploitations, avec celui des hydrauliciens centré sur la gestion de l'eau *sensu stricto* (Vandersypen *et al.*, 2007), celui des économistes s'intéressant aux outils permettant de réguler offre et demande en eau (quotas, tarification, taxes) (Montginoul et Rieu, 1996 ; Johansson *et al.*, 2002) et celui des spécialistes des systèmes d'information (David et Pallez, 2001) nécessaires à la gestion du périmètre.

Ces travaux ont été financés par une Action thématique programmée interne au Cirad, que j'ai coordonnée de 1998 à 2000. Ils se sont basés sur des interventions auprès de gestionnaires de périmètres au Brésil (vallée du rio São Francisco) Mali (Office du Niger) et Sénégal (delta du fleuve Sénégal). A partir de ces différents cas d'étude j'ai forgé **un cadre général de représentation du fonctionnement des périmètres irrigués collectifs** [ACLN 4]. Cette représentation se base sur quatre éléments que je réutiliserai par la suite dans mes travaux de modélisation sur les bassins d'approvisionnement et les exploitations agricoles : les acteurs, les fonctions à gérer, les flux de ressources entre fonctions et acteurs, les outils de coordination entre fonctions et acteurs.

Le périmètre irrigué est considéré comme un système complexe où interagissent trois grands types d'acteurs (Figure 12) : **le gestionnaire du périmètre**, **les producteurs** bénéficiaires du service de l'eau, et **des acteurs externes** (institutions publiques, toujours très présentes dans le secteur de l'eau, fournisseurs de biens et services, filières de commercialisation et de transformation). La gestion du périmètre se structure autour de quatre fonctions. **La fonction hydraulique** couvre à la fois la distribution de l'eau d'une prise amont vers les parcelles, et la maintenance des réseaux. **La fonction financière** constitue le pendant de la précédente. Les coûts d'investissement, d'entretien et de fonctionnement générés par le service de l'eau sont couverts par le gestionnaire à travers le **choix d'un système tarifaire**. Ce choix et l'estimation des coûts sont sources fréquentes de conflits entre

gestionnaire et producteurs, d'autant qu'ils doivent prendre en compte la capacité des producteurs à payer le service, capacité elle-même fonction des revenus qu'ils tirent de la production irriguée. Les deux autres fonctions dont dépend la valorisation de l'eau distribuée relèvent plus directement des producteurs et renvoient au fonctionnement des exploitations agricoles : **production agricole** (choix et conduite des systèmes de cultures irriguées), **commercialisation des productions végétales et animales**, issues de la transformation des cultures fourragères irriguées dans ce dernier cas.

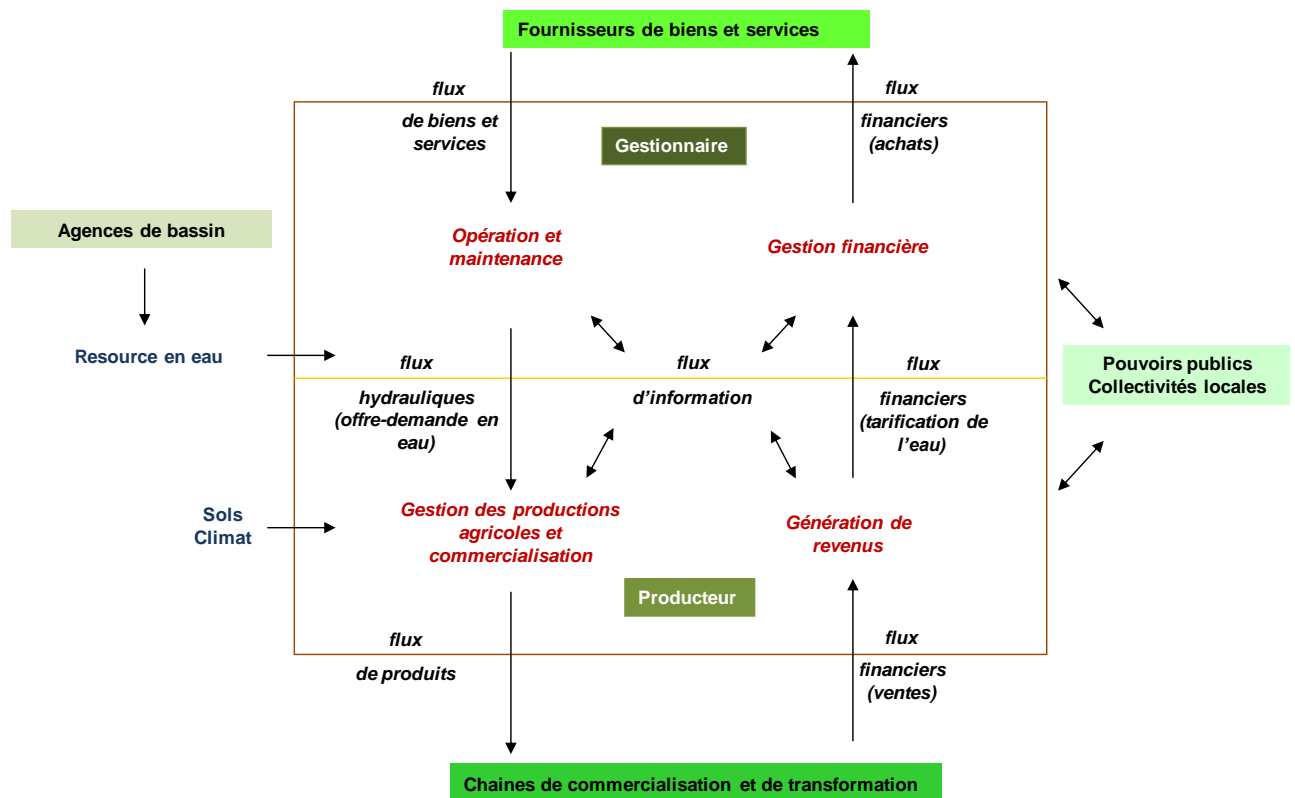


Figure 12. Cadre de représentation du fonctionnement d'un périmètre irrigué collectif

Le cadre brun représente les limites du périmètre avec, dans la moitié supérieure, les composantes dépendant du gestionnaire, dans la moitié inférieure celles dépendant des producteurs. Les acteurs sont identifiés par des rectangles de différents verts. Les flux de ressources et d'information entre acteurs sont matérialisés par des flèches et nommés en italique noir. Les fonctions à gérer sont en italique rouge (source : ACLN 4).

Ces quatre fonctions s'articulent autour d'un ensemble de flux dont la gestion fait l'objet des coordinations entre acteurs : **flux hydrauliques et financiers** entre gestionnaire et producteurs, les premiers répondant à la demande en eau des seconds à travers une offre en eau et tarifant en retour le service rendu ; **flux de biens et services et financiers** entre opérateurs amont, d'une part, gestionnaire et producteurs d'autre part ; **flux de produits et financiers** entre producteurs et filières aval ; **flux d'informations** liés aux différentes transactions entre acteurs internes et externes au périmètre. Les outils de coordination mis en place sont donc de trois ordres : des règles de gestion de la distribution de l'eau (par exemple des tours d'eau) et de maintenance des réseaux (par exemple : fréquence des entretiens), des systèmes tarifaires pouvant prendre des formes variées (forfaitaire à l'hectare, lié au volume consommé, binôme) et des systèmes d'information plus ou moins formalisés pour collecter, archiver et mobiliser l'information nécessaire à la prise de décision.

Ce cadre, issu de l'analyse comparée entre les sites étudiés, d'une réflexion théorique plus large dans le domaine de la gestion des périmètres irrigués et de rapprochements avec la gestion des entreprises, a été mobilisé pour définir les questions traitées dans chaque cas, en fonction de la

demande identifiée avec les gestionnaires¹⁷. Au Brésil l'intervention a porté (i) sur **les modalités d'adaptation de l'offre en eau face à une demande variable** à la fois d'un producteur à l'autre et d'une année à l'autre du fait d'une très grande diversité d'assolements [ACL 5], et (ii) sur la possibilité de **faire évoluer la tarification de l'eau** pour mieux couvrir les dépenses d'entretien du périmètre tout en minimisant les risques d'impayés [ACL 16]. Ce thème de la tarification a été également traité au Sénégal en relation avec la gestion financière des associations gérant les périmètres. Nous avons montré que le système en vigueur au moment de l'intervention ne permettait pas de couvrir les charges d'entretien à moyen et long terme, conduisant à une détérioration progressive du service de l'eau [ACLN 5]. Au Mali l'Office du Niger gère un périmètre d'environ 70 000 ha comprenant des milliers de kilomètres de canaux et drains et des centaines d'ouvrages, dont la gestion de la maintenance représente un problème majeur, source de conflits entre les différentes structures de l'Office comme avec les producteurs. Ce problème renvoie à **des déficiences du système d'information en place**, tant dans le recensement et la description du réseau que dans le suivi des interventions de maintenance réalisées dans le temps sur un élément du réseau [ACL 12].

2.4. Analyse de la gestion d'un bassin d'approvisionnement sucrier

(Voir l'article ACL 4 présenté en annexe 3 pour une illustration sur le cas sud-africain. Cette section ne présente que la partie analytique de ce travail, la partie modélisation et aide au changement étant présentée au chapitre 3)

- Problématique

Mes travaux sur la gestion des bassins d'approvisionnement sucriers ont débuté en 1996 à La Réunion suite à une demande de la filière concernant les possibilités de **diminuer les coûts de production du sucre en améliorant la coordination entre producteurs et industriels**. J'ai d'emblée souhaité associer à ce travail Louis-Georges Soler, dont je connaissais les travaux sur la filière Champagne (Soler et Tanguy, 1998), car je n'avais à l'époque aucune expérience de ce type de contexte et de problématique, ni de conception d'outils de gestion *ad hoc*. Cette collaboration, qui s'est poursuivie lors de mon séjour en Afrique du Sud sur la même thématique, m'a permis d'acquérir les compétences nécessaires pour traiter de tels sujets.

Tant à La Réunion que par la suite en Afrique du Sud où le problème posé était similaire, la première étape de l'intervention a consisté à **comprendre la façon dont la gestion de l'approvisionnement des sucreries**, au cœur des relations entre industriel et producteurs, **influçait la production de sucre à l'échelle du bassin** en lien avec les caractéristiques agro-physiologiques de la canne. Celle-ci est une graminée à croissance continue, dont le cycle entre deux coupes est divisé en deux phases (Fauconnier, 1991) : une période de croissance où s'élabore le rendement en canne, et une période de maturation où la plante produit du saccharose. La production de sucre est stimulée par un stress hydrique combiné ou non à une baisse des températures. Les conditions climatiques influencent donc à la fois la durée du cycle entre deux coupes, en relation avec le type de variété cultivée, et le profil de la courbe de production du saccharose au cours du temps. Les sites où la pluviométrie et les températures sont contrastées durant l'année présentent des courbes en cloche, avec un pic plus ou moins marqué selon les années (Figure 13).

¹⁷ Je ne détaillerai pas dans ce document ces différents travaux, qui sont moins en rapport avec mes activités actuelles. Le lecteur intéressé pourra se reporter aux articles tirés de ces interventions, qui couvrent à la fois leur dimension analytique et d'aide au changement.

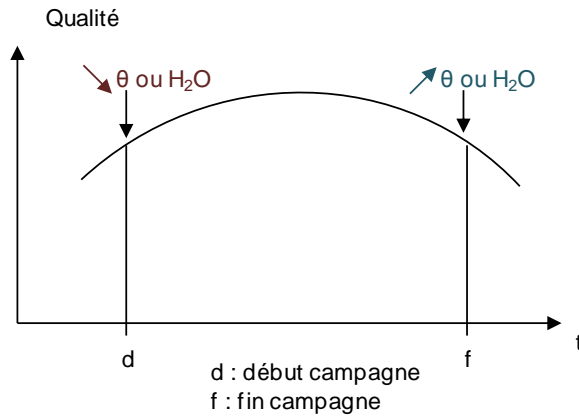


Figure 13. Exemple schématique de courbe de qualité de la canne à sucre et de calage d'une campagne de récolte
 Θ = température de l'air ; H_2O = humidité du sol

Les industriels et les producteurs ont *a priori* intérêt à caler les livraisons autour du pic de richesse, afin de maximiser la quantité de sucre produite à l'échelle individuelle comme à celle du bassin d'approvisionnement. Cet objectif se heurte dans la pratique à plusieurs contraintes. D'abord la durée de la campagne de coupe résulte d'un compromis technico-économique entre les quantités de canne à transformer et les capacités de transformation, transport et récolte investies par les différents acteurs qui interviennent tout au long de la chaîne logistique (Figure 14).

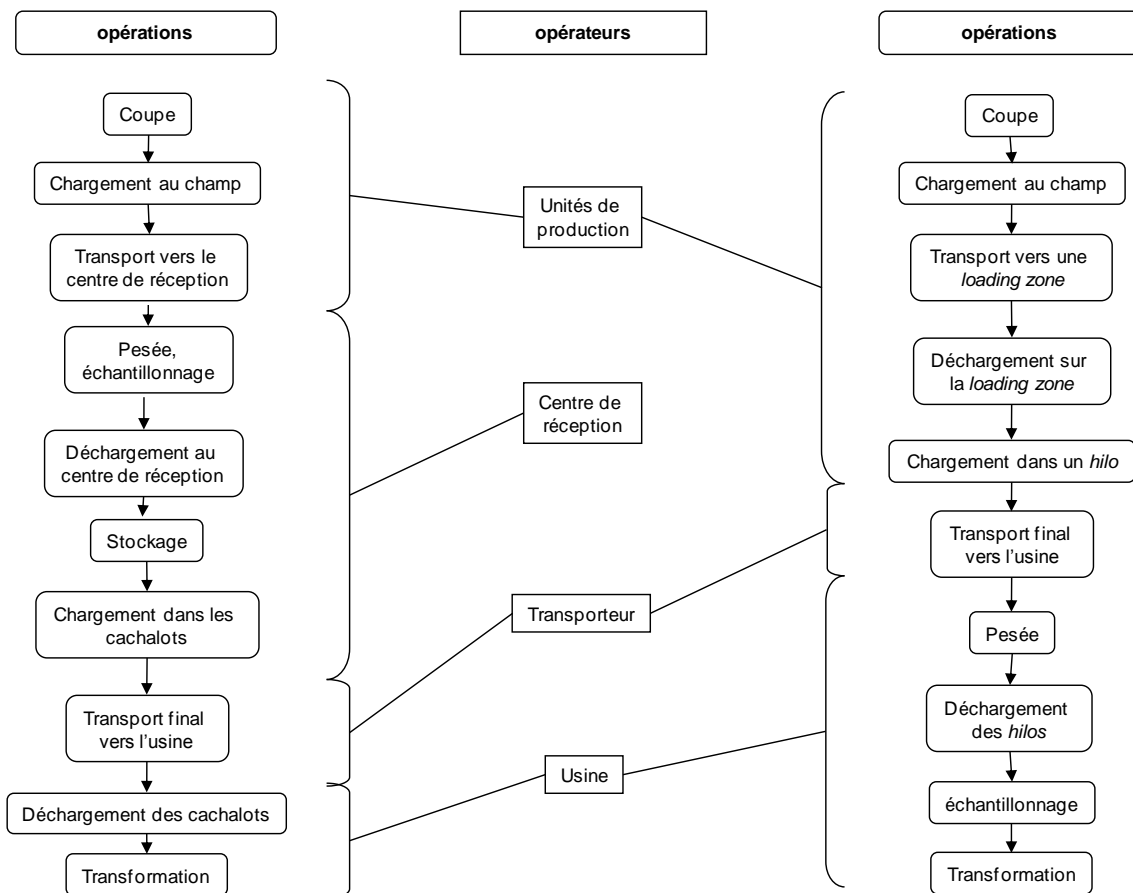


Figure 14. Enchaînement des opérations logistiques depuis la parcelle jusqu'à la sucrerie
 (source : OS 7)
 Cachalot et hilo : camions de fort tonnage utilisé pour livrer la canne à l'usine

Ensuite l'industriel recherche une régularité de ses approvisionnements tout au long de la campagne, des sur-stockages ou un fonctionnement à sous-capacité augmentant ses coûts de production (Figure 15). Enfin, les pics de variation de la richesse en sucre ne coïncident pas nécessairement partout sur un bassin d'approvisionnement du fait de conditions climatiques contrastées.

D'où la question traitée au plan analytique : **Quelles sont les pratiques et outils de gestion adoptés par les acteurs, et particulièrement l'industriel, pour remplir ce double objectif de régularité des approvisionnements et de maximisation du sucre produit sur une campagne ?**

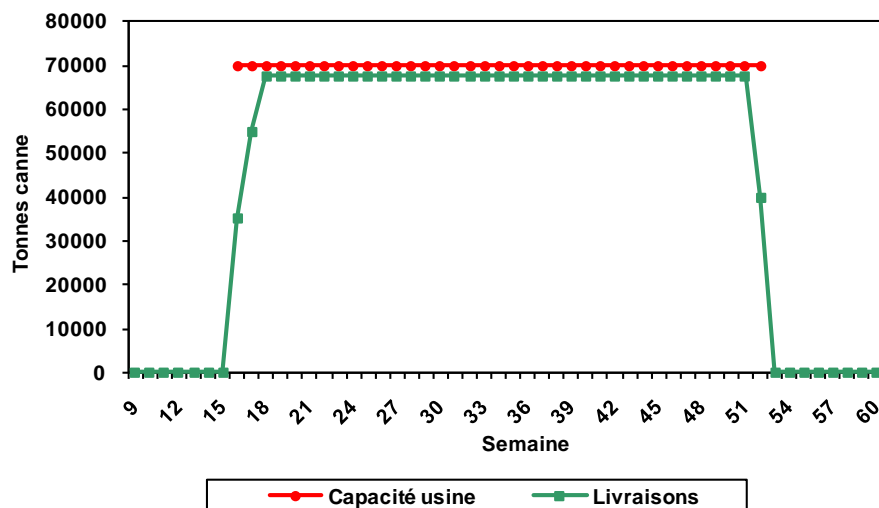


Figure 15. Représentation schématique d'un profil idéal de livraison de cannes à l'usine
L'objectif visé par l'industriel consiste à assurer des livraisons hebdomadaires de canne proches de la capacité de broyage de l'usine tout au long de la campagne, à l'exception des premières et dernières semaines de coupe.

Méthodes de recherche

Les travaux ont été conduits sur les deux usines encore présentes à La Réunion et une seule en Afrique du Sud, choisie pour l'intérêt qu'elle portait à la démarche proposée. Dans ces trois cas le protocole de recherche a été identique. Il a consisté à croiser l'analyse des données collectées par l'usine concernant les caractéristiques des livraisons individuelles (date de livraison, quantité, qualité, modalité de coupe – chargement – transport) avec des entretiens auprès de différents types d'acteurs : responsables approvisionnement des usines, transporteurs, prestataires chargés de la coupe et du chargement de la canne, producteurs représentant différentes catégories de livreurs (volumes totaux livrés, origine géographique, type de chaîne logistique de la parcelle à l'usine). Ces enquêtes avaient également pour but de renseigner le modèle de simulation utilisé dans la phase d'aide au changement.

L'analyse des données quantitatives a permis de reconstituer pour chaque année étudiée les calendriers de livraison, l'évolution de la qualité moyenne en cours de campagne sur le bassin ou certaines zones du bassin, les capacités disponibles et les débits de chantier pour chaque étape de la chaîne logistique identifiée, les tonnages de sucre produits. Les entretiens ont permis de **caractériser les plans d'action des acteurs et leurs processus d'ajustements aux aléas rencontrés en cours de campagne**, tirées ou non d'une confrontation avec les données observées une année donnée. Ces résultats ont été présentés sur chaque bassin à des groupes réunissant des représentants des usines et des producteurs, afin de valider l'analyse faite de la situation et d'identifier sur cette base les questions à traiter dans la phase d'aide au changement.

- Résultats

Les enquêtes réalisées ont montré que l'organisation de l'approvisionnement des sucreries suivait des modalités proches à La Réunion et en Afrique du Sud. Pour remplir son objectif de régularité des apports tout en tenant compte des contraintes de capacité le long de la chaîne, l'industriel met en

place une procédure de planification de ses approvisionnements comprenant :

(i) **une estimation des quantités à transformer pour l'année.** Cette estimation est réalisée en demandant à chaque producteur de déclarer son volume de canne prévu, l'industriel contrôlant le réalisme de cette estimation en fonction des volumes livrés l'année précédente et d'événements tels que des nouvelles plantations ;

(ii) **le choix d'une durée de campagne et de dates de début et fin de la campagne.** La durée de campagne dépend du volume estimé total de canne à broyer, divisé par la capacité hebdomadaire de broyage (Équation 1) Cette capacité inclue les durées hebdomadaires d'entretien de l'usine et un taux statistique de panne (Équation 2). La fin de campagne est dictée par des considérations climatiques (arrivée des premières pluies) ou sociales (ne pas dépasser la semaine précédant Noël). La date de début de campagne, qui déclenche l'ouverture de l'usine et les premières récoltes, est calculée en fonction des deux précédentes variables ;

$$Dur_{camp} = \sum_{i=1}^n Ton_i / Cap_{Br} \quad \text{Équation 1}$$

$$Cap_{Br} = Cap_{hor} \times (168 - Main) \times (100 - Tx_{panne}) / 100 \quad \text{Équation 2}$$

où Dur_{camp} = durée de campagne de récolte (en semaines)
 i = index producteur
 Ton_i = tonnage total de canne estimé du producteur i pour l'année considérée
 Cap_{Br} = capacité de broyage hebdomadaire (tonne/semaine)
 Cap_{hor} = capacité de broyage horaire (tonne/heure)
 $Main$ = durée hebdomadaire de maintenance (heure)
 Tx_{panne} = taux de panne hebdomadaire moyen (%)

(iii) **une allocation de droits à livrer par producteur** durant la campagne en fonction de règles préétablies (Gaucher, 2002). A La Réunion comme en Afrique du Sud, les règles en cours au moment de l'intervention consistent à diviser la production estimée par producteur par la durée de la campagne, définissant un droit à livrer hebdomadaire (Équation 3). Il n'est donc pas fait cas d'éventuels différentiels de qualité de la canne au sein du bassin d'approvisionnement.

$$DRH_i = Ton_i / Dur_{camp} \quad \text{Équation 3}$$

où DRH_i = droit hebdomadaire à livrer du producteur i

En cours de saison, **ce plan est révisé régulièrement** pour tenir compte des volumes effectivement livrés par les producteurs et de l'estimation des quantités restantes. De nombreux aléas peuvent en effet perturber les récoltes : feux de parcelles qui obligent à livrer rapidement la canne brûlée, sachant que le taux de sucre diminue rapidement après brûlis et plus généralement après la coupe, grève d'usine, pannes de matériel, etc. La révision des plans permet de réguler l'organisation logistique au quotidien, qui a pour objectif de saturer la capacité de l'usine tout en minimisant les files d'attente en entrée usine et les délais récolte-broyage. Des reports de livraison sont possibles entre producteurs en cours de campagne, et dans les cas les plus extrêmes la saison de coupe peut être rallongée de quelques semaines, voire certaines parcelles être basculées sur la saison suivante.

Ces outils de gestion des approvisionnements mis en place par les industriels sont complétés par des **systèmes de paiement de la canne** qui visent plusieurs objectifs. Ainsi le système sud-africain cherche à atteindre six objectifs simultanément : (i) couvrir les coûts de production des producteurs et des industriels, (ii) partager la valeur totale produite par l'industrie sucrière sud-africaine entre producteurs et industriels, (iii) partager la part des producteurs entre eux, (iv) inciter les grandes exploitations à livrer de la canne de bonne qualité et (v) régulièrement tout au long de la saison, et (vi) ne pas pénaliser les petites exploitations qui livrent leurs cannes en peu de fois durant la saison. Pour ce faire le système de paiement se base sur une estimation de la qualité d'un lot de canne proche du saccharose réellement extractible (notion de valeur récupérable ou *Recoverable Value* – RV ; Équation 4). Ce système est dit « relatif » car le producteur est payé en comparant ses résultats à la moyenne du bassin (Équation 5). Ce système incite les grandes exploitations à ne pas concentrer

leurs livraisons sur les périodes où la canne est plus riche en sucre [ACLN 8].

$$\%RV = \%S - d \times \%NS - c \times \%F \quad \text{Équation 4}$$

où $\%RV = Recoverable Value$ (estimation de la qualité de la canne sur un lot)
 $\%S =$ proportion de saccharose
 $\%NS =$ proportion de non saccharose
 $\%F =$ proportion de fibre
 $c =$ facteur lié au sucrose fixé par la fibre et perdu durant le process de transformation
 $d =$ facteur lié au sucrose fixé par le non saccharose et le revenu tiré des molasses produites à partir du non sucrose

$$\%RV_{relatif, i, j} = \%RV_{mesuré, i, j} - \%RV_{MoyenneHebdo_BA} + \%RV_{MoyenneCampagne_BA} \quad \text{Équation 5}$$

où $i =$ producteur i
 $j =$ semaine j
 $BA =$ bassin d'approvisionnement

- Discussion

L'exemple de la canne à sucre illustre bien la situation d'**interdépendance verticale entre industriel et producteurs** rencontrée dans les chaînes logistiques, qui se traduit par un alignement des investissements en capacités le long de la chaîne, des modalités de régulation des livraisons et des systèmes de paiement multi-objectifs. Cet exemple met également en évidence l'**interdépendance horizontale entre les producteurs** d'un même bassin d'approvisionnement, dans la mesure où (i) les décisions prises ou les aléas rencontrés par une exploitation en matière de récolte ont des répercussions sur l'ensemble des fournisseurs d'un même bassin d'approvisionnement et (ii) la valeur totale créée par le bassin, dont dépendent les revenus de chacun, est liée aux efforts individuels pour améliorer la qualité des livraisons. Les décisions prises indépendamment par un producteur concernent essentiellement ses rythmes de replantation, la conduite de la fertilisation, l'irrigation et l'entretien de ses parcelles (désherbage, lutte contre les bio-agresseurs). Ses choix variétaux sont par contre conditionnés par son organisation de récolte s'il souhaite maximiser la qualité moyenne de ses livraisons, ce que l'encouragent à faire les systèmes de paiement mis en place (Figure 16).

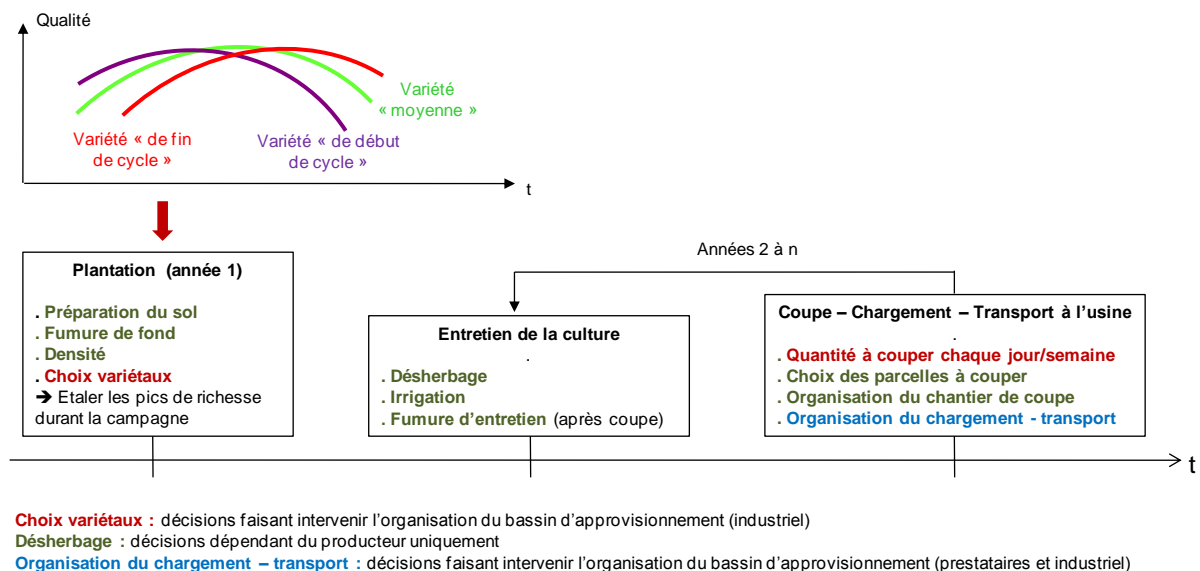


Figure 16. Rôle des différents acteurs dans la conduite de l'itinéraire technique canne à sucre
 Le lissage de la courbe de richesse peut s'appuyer sur une combinaison de variétés dont le pic est décalé durant la campagne. L'industriel et les prestataires agricoles influencent essentiellement ce choix et l'organisation du chantier de coupe-charge-transport de la canne. Celle-ci peut être conservée sur une même parcelle un nombre n d'années, variable selon l'évolution des rendements et les fonds dont dispose le producteur pour replanter.

2.5. Vers un cadre d'analyse combinant périmètre irrigué et chaînes d'approvisionnement

L'intervention conduite au Maroc, qui associait sur un même terrain périmètre irrigué, exploitations agricoles et bassin d'approvisionnement, m'a conduit à proposer un cadre intégrateur de ces trois entités s'appuyant sur le concept de *supply chain management* [ACL 8, ACL 17]. Dans cette représentation, le service de l'eau fait partie intégrante de la chaîne logistique et l'exploitation agricole se trouve à l'interface entre le gestionnaire du périmètre irrigué, dont elle est cliente, et l'opérateur aval dont elle est fournisseur.

Appliquée au cas du bassin de collecte laitier du Tadla, ce cadre permet d'**analyser les relations entre producteurs, gestionnaire du périmètre et laiterie au sein de la chaîne logistique** (Figure 17). Cette chaîne part de la fourniture de l'eau par le gestionnaire, à partir d'une ressource de surface elle-même gérée par une agence de bassin. Ce service fait l'objet d'une première fonction de production¹⁸ Pf1 transformant l'eau brute fournie par l'agence en un ensemble de livraisons auprès des irrigants, dont les exploitations laitières. La transformation de l'eau en fourrages relève d'une deuxième fonction de production Pf2 incluant les modes de conduite technique des cultures fourragères par les producteurs. En dépendent à la fois les quantités, qualité et disponibilité des fourrages dans le temps. Ceux-ci sont ensuite associés par le producteur à d'éventuels concentrés pour constituer le système alimentaire des animaux. Ces rations sont transformées en lait et viande via une troisième fonction de production Pf3 faisant appel aux mécanismes physiologiques propres aux races et individus présents dans le troupeau. Les producteurs commercialisent une partie du lait à la laiterie *via* les centres de collecte gérés par les coopératives. Ces coopératives agrègent les livraisons individuelles en volumes plus importants, refroidis et transportés vers l'usine par camion citerne (fonction de production Pf4). La laiterie transforme le lait brut en lait conditionné et en dérivés (fonction de production Pf5) qui sont alors distribués aux consommateurs selon différents canaux (grande distribution, détaillants).

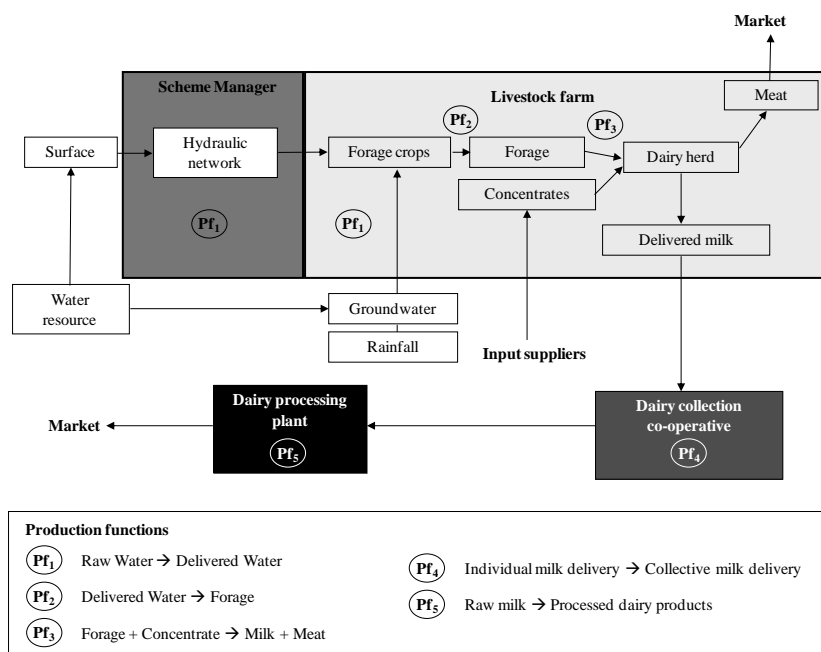


Figure 17. Exemple d'un cadre général d'analyse et d'interventions basé sur le concept de *supply chain* (bassin d'approvisionnement laitier du Tadla – Maroc)

La chaîne logistique part de la ressource en eau et finit avec les produits laitiers mis sur le marché. Elle fait intervenir 4 acteurs et 5 fonctions de production (Pf_i) symbolisant le passage de ressources amont en ressources aval (source : ACL 8).

¹⁸ Ce terme a été emprunté à la micro-économie, où il désigne la fonction permettant de passer d'un ensemble de facteurs de production mesurés en volume à une quantité produite. Si ces fonctions prennent des formes mathématiques connues, elles couvrent ici un ensemble de processus pour certains mathématisables (ex de Fp3 : passage d'unités fourragères et matières protéiques à un litre de lait), pour d'autres plus complexes car faisant appel à une chaîne de processus (ex de Fp5 : passage d'un litre de lait brut à une gamme de produits laitiers transformés).

Cette représentation ne concerne qu'une chaîne logistique. Mais, à l'exception de périmètres en monoculture (riz ou canne à sucre en Afrique de l'Ouest par exemple) les systèmes de production irrigués combinent plusieurs spéculations, à l'échelle des exploitations agricoles et, par suite, du périmètre tout entier. Celui-ci est alors le point de départ de plusieurs chaînes, dont les opérateurs aval prennent des formes diverses selon le contexte et le produit (Figure 18)¹⁹. Les situations irriguées présentent trois avantages majeurs pour ces opérateurs : (i) la réduction du risque lié au facteur hydrique, avec ces effets sur les caractéristiques des lots livrés (quantité, qualité, calendriers de production et de livraison) ; (ii) la réduction des coûts logistiques grâce à une concentration des zones de production dans l'espace du périmètre ; (iii) l'existence éventuelle d'organisations intermédiaires de producteurs prenant en charge l'agrégation de l'offre de matière première provenant de nombreuses petites exploitations agricoles.

Les opérateurs aval vont entrer en compétition pour les allocations de ressource en terre à l'échelle des exploitations (choix des assolements par les producteurs en fonction de facteurs techniques et économiques) et par ricochet de l'allocation de l'eau à l'échelle du périmètre. De par sa position amont et centrale, le gestionnaire du périmètre se trouve ainsi en position de peser sur les performances des exploitations et des chaînes agro-alimentaires, en leur attribuant une part plus ou moins importante de la ressource en eau disponible à un moment donné. Si des chaînes agro-alimentaires efficaces et génératrices de valeur sont des atouts majeurs pour un gestionnaire de périmètre irrigué et les producteurs qui s'y insèrent, cela suppose que soient traitées les questions de **compétition pour l'accès à l'eau disponible**, alors qu'il n'existe en général pas de cadre formel de coordination entre périmètre, producteurs et opérateurs aval. Ce point demeure **une question de recherche à approfondir**, pour laquelle l'agronomie apporte sa connaissance des liens entre gestion de l'eau et gestion de la production agricole, d'une part, gestion de flux de matière première agricole entre producteurs et opérateurs aval, d'autre part.

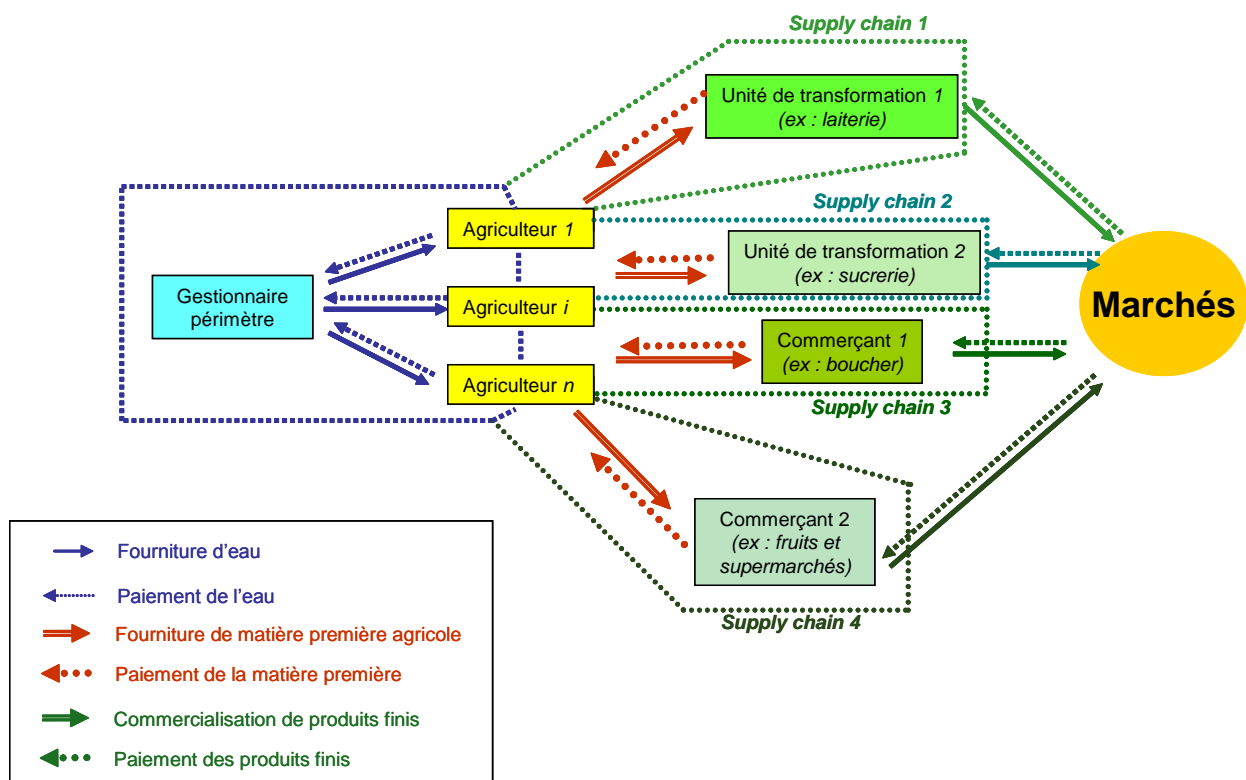


Figure 18. Représentation conceptuelle des liens entre périmètre irrigué et bassins d'approvisionnement agro-alimentaires
Chaque aire délimitée par des pointillées correspond à une chaîne d'approvisionnement. Les flèches pleines désignent les flux de ressources de l'amont vers l'aval, les flèches pointillées les flux financiers en retour.

¹⁹ Ce cadre n'a pas fait l'objet d'une publication à revue car il n'a pas été déployé sur un cas concret jusqu'ici. Il est présenté dans la référence suivante : **Le Gal P.-Y.**, 2006. Intervenir dans les filières agroalimentaires : application d'une démarche aux périmètres irrigués. In *L'avenir de l'agriculture irriguée en Méditerranée. Nouveaux arrangements institutionnels pour une gestion de la demande en eau*, Wademed Cahors, France, 6 et 7 novembre 2006, 13 p. (<http://hal.cirad.fr/cirad-00191022/fr/>)

3. Enseignements pour l'agronome de l'exploitation et du territoire

Analyser la gestion technique de l'exploitation agricole permet à l'agronome de replacer les processus d'innovations techniques dans l'univers diversifié des producteurs et de mieux positionner les démarches d'aide à l'action qui prolongent cette étape analytique. Les connaissances produites permettent également d'enrichir les échanges avec les agronomes de la parcelle, tant sur l'adéquation de leurs propositions techniques aux contraintes et questions que se posent les producteurs, que sur la nature des processus agronomiques à prendre en compte. Le dialogue est à bénéfice réciproque : l'agronome de l'exploitation soulève des manques de connaissances biotechniques au regard des situations rencontrées chez les producteurs (cf. chapitre 4) quand l'agronome de la parcelle montre l'importance de processus ignorés des producteurs, par exemple dans le domaine environnemental et dans les conséquences de certains choix techniques sur le temps long (fertilité des sols). Le cadre conceptuel présenté Figure 6 vise précisément à mieux formaliser ces relations.

Travailler au niveau de l'exploitation agricole amène l'agronome à franchir certaines frontières, qu'elles relèvent des spécialisations par filière de production ou des disciplines elles-mêmes. Les exploitations de polyculture-élevage sont, à ce titre, illustratives. Incluant par définition différentes productions végétales et animales, elles m'ont amené à travailler avec des agronomes spécialistes des cultures rencontrées sur le terrain et des zootechniciens. La spécificité de l'agronome, comme du zootechnicien ou de l'économiste de l'exploitation agricole, consiste alors à **porter son attention sur les processus de coordination interne à l'exploitation agricole** comme représenter dans la Figure 5, au-delà de chaque élément du système.

Le passage au territoire, ici l'espace du bassin d'approvisionnement ou du périmètre irrigué, amplifie l'accent mis sur les **processus de coordination**, cette fois **entre acteurs**. L'étude de ces processus peut paraître éloignée de la discipline agronomique. Néanmoins on ne peut comprendre, dans ces contextes d'organisation collective, la façon dont les producteurs prennent leurs décisions techniques sans tenir compte de la façon dont sont gérées les ressources partagées, du fait de l'interdépendance tant verticale entre gestionnaire de périmètre / industriel et producteurs, qu'horizontale entre producteurs partageant le même réseau hydraulique ou bassin d'approvisionnement.

Dans ce changement d'échelle l'apport des agronomes et des disciplines techniques proches (zootechnie, hydraulique et machinisme agricole) se situe dans **l'étude des processus de gestion des flux physiques de ressources**. Cette analyse permet de mieux comprendre la façon dont sont gérées techniquement les soles des cultures insérées dans ces organisations collectives et les conséquences des prescriptions réciproques entre acteurs (Hatchuel, 1994) sur les performances des uns et des autres. Par ses connaissances techniques et sa vision du maillon « exploitation agricole », l'agronome apporte au débat des considérations liées aux caractéristiques propres des ressources étudiées et à la diversité des producteurs, trop souvent méconnue par les opérateurs amont et aval. Celle-ci peut s'avérer une contrainte pour les opérateurs, qu'ils chercheront à gommer en appliquant des règles uniformes auxquelles chacun devra se plier (cf. exemple de la canne), avec des risques de conflit et de pertes d'efficacité, ou au contraire une source d'augmentation de valeur sur laquelle s'appuyer (cf. Napoléone et Chia, 2010 pour un cas en production fromagère). L'outil typologique trouve ici un champ d'utilisation opérationnelle pour décrire et modéliser cette diversité et l'intégrer dans une représentation plus précise du niveau collectif.

Cette connaissance est d'autant plus utile qu'elle est connectée aux apports d'autres disciplines. Sur ce plan j'ai pu constater la puissance des outils économiques tels que les systèmes tarifaires de l'eau dans les périmètres irrigués et les systèmes de paiement de la matière première dans les bassins d'approvisionnement, pour comprendre et faire évoluer les comportements des acteurs individuels. Articuler les approches par les flux et ces outils a nécessité de travailler en lien étroit avec les économistes, tout du moins ceux qui s'intéressent à ce type de processus. Si j'ai pu éprouver leur finesse d'analyse et la richesse de leurs bases théoriques, j'ai également constaté le faible intérêt de la discipline pour ce qui passe pour de « l'ingénierie » économique, à savoir la conception de nouveaux outils en interaction avec les acteurs (voir Bouche et Attonaty, 1999 pour un exemple sur le lait). Ceci m'a amené à conduire des travaux de ce type avec l'appui de L.-G. Soler [ACLN 8], travaux qui ont été prolongés et développés par une autre agronome, Caroline Lejars, dans le cadre de sa thèse (Lejars *et al.*, 2010).

Chapitre 3. De l'analyse à l'accompagnement des acteurs : le rôle de la modélisation

Cette partie présente la façon dont j'ai traité la deuxième question annoncée en introduction, à savoir : *comment aider les producteurs et les acteurs avec lesquels ils interagissent à concevoir de nouvelles formes de gestion ?* Bien que présente dès mon début de carrière, cette préoccupation ne s'est réellement concrétisée qu'à partir de ma thèse, avec l'introduction de la modélisation dans mes travaux. Elle a ensuite pris de l'ampleur avec les expériences conduites sur la gestion des organisations collectives, en se basant sur les principes exposés au chapitre 1. Puis elle s'est étendue à la conception des systèmes de production avec mon « retour » à l'exploitation agricole à partir des années 2000. Je conserverai cette présentation chronologique dans cette partie afin de montrer comment l'enchaînement de ces expériences a influencé les choix et principes sur lesquels je fonde cette activité aujourd'hui. Je terminerai ce chapitre en traitant la question de l'évaluation des démarches d'accompagnement et de modélisation mises en œuvre.

1. Otelo ou la découverte de la modélisation pour l'aide à la réflexion prospective

Dès le montage de mon sujet de thèse avec F. Papy, nous nous étions fixés pour objectif de coupler l'analyse de la gestion collective de l'organisation du travail avec l'utilisation du logiciel Otelo (Organisation du travail et langage objet) pour aider les associations de producteurs à réfléchir à de nouvelles formes de gestion. Ce logiciel a été mis au point par l'Inra pour traiter les problèmes d'organisation du travail sur les exploitations de grandes cultures dans le bassin parisien. Il s'appuie sur un cadre de représentation générique de l'organisation du travail, applicable à ce type d'exploitations (Attonaty *et al.*, 1993). Il résulte d'un ensemble d'expériences remontant aux années soixante, durant lesquels furent testés avec des producteurs des outils d'optimisation du type « programmation linéaire » et des simulateurs budgétaires (Attonaty *et al.*, 1999). Les leçons tirées de ces expériences et l'émergence de nouvelles technologies informatiques (intelligence artificielle et langage objet) fondèrent la conception et l'utilisation d'Otelo et d'outils ultérieurs tels que Irma (Labbé *et al.*, 2000) et Déciblé (Chatelin *et al.*, 2005), autour des points suivants :

(i) L'objectif de la démarche d'accompagnement est d'**aider à l'apprentissage et à la réflexion prospective** plutôt qu'à la décision *per se* (de Geus, 1992), un principe fondateur de ce type d'utilisation des modèles repris également par des équipes australiennes (McCown, 2002 ; McCown *et al.*, 2009), sur la base de travaux en science de la décision²⁰.

(ii) Le modèle est utilisé pour nourrir la réflexion du producteur sur la base de scénarios simulés. Leur construction permet de formaliser le fonctionnement actuel et les évolutions possibles du système étudié, et leurs sorties quantifiées d'objectiver la comparaison entre les différentes alternatives envisagées et la situation actuelle. L'hypothèse est faite que la **réflexion sur des situations virtuelles** sont pour le producteur comme pour l'intervenant (chercheur, conseiller agricole) source d'apprentissage (Queau, 1986). Il s'agit donc *d'apprendre pour jouer et de jouer pour apprendre*, comme l'indiquait F. Papy (1993).

(iii) La validation de tels modèles ne réside pas tant dans leur capacité prédictive²¹, comme pour les modèles biotechniques, que dans leur **capacité à fournir des représentations intelligibles et pertinentes pour les producteurs**. Ce principe donne une place centrale aux acteurs utilisant ces modèles dans le processus de validation à la fois des représentations du réel, des scénarios, de leurs résultats simulés et *in fine* des outils de simulation.

(iv) L'outil informatique est conçu de manière à reproduire la façon dont le producteur raisonne la gestion de son système. Pour ce faire, un **formalisme à base de règles** du type « Si Conditions Alors

²⁰ « L'objectif n'est pas de découvrir une vérité existante extérieurement aux acteurs impliqués dans le processus mais de construire un « jeu de clés » qui leur ouvrira des portes et leur permettra de cheminer, de progresser conformément à leurs objectifs et à leurs systèmes de valeurs » (Roy, 1992)

²¹ Bien qu'il soit toujours possible de comparer les sorties des simulations du scénario représentant la situation actuelle avec les observations faites sur le cas réel modélisé (voir section 4. de ce chapitre).

Action » est utilisé. S'agissant d'organisation du travail, les conditions peuvent être des états du milieu (pluie, température, vitesse du vent), l'état d'avancement d'un chantier, des enchaînements entre chantiers, etc. Les simulations sont réalisées sur un ensemble de scénarios climatiques tirés des relevés d'une station météo proche de l'exploitation étudiée. Le producteur peut alors évaluer le risque pris par une organisation donnée au regard de l'aléa climatique.

(v) Dans le cas d'Otelo, **un méta-langage** a été conçu avec une syntaxe reproduisant les termes et concepts utilisés par les producteurs quand ils décrivent leur organisation du travail. Ce choix est rare sur ce type de modèles à base de règles, où l'option choisie par le concepteur-chercheur est plutôt de créer une bibliothèque de règles sur la base des cas étudiés (Vayssières *et al.*, 2009 ; Mérot and Bergez, 2010). Mais l'objectif était de mettre Otelo entre les mains de conseillers agricoles dans le cadre d'un dispositif de transfert des acquis de l'Inra vers les structures de développement (Chatelin *et al.*, 1994). Il fallait donc que le logiciel offre la possibilité de représenter une large gamme d'exploitations agricoles, à l'aide d'interfaces aussi conviviales que possible pour cette époque pré-Windows !

J'ai moi-même utilisé Otelo à deux reprises : lors de ma thèse où son application sur un cas collectif s'est révélée faisable mais avec force simplifications et impossibilités de prendre en compte les interactions entre acteurs, puis sur des exploitations rizicoles camarguaises dans le cadre d'un stage d'élève ingénieur [OS 3]. Cette seconde expérience, plus proche des situations pour lesquelles le logiciel avait été conçu, m'a permis de constater sa puissance pour représenter l'organisation du travail d'une exploitation (en l'occurrence la phase de préparation du sol et d'installation de la culture), simuler des changements d'organisation et interagir sur ces bases avec un producteur.

Mais j'ai également constaté la **complexité d'utilisation de l'outil**, dont l'acquisition du langage propre et la compréhension de la logique interne, n'étaient pas triviaux. S'y ajoutaient des interfaces peu conviviales, l'Inra n'ayant pas investi dans la maintenance et l'évolution du logiciel. Ces aspects s'imposant également aux conseillers agricoles, l'utilisation d'Otelo en situation de conseil individuel a été abandonnée pour faire place à une activité de production de références régionales basées sur des cas type ou réels d'exploitation (Chatelin *et al.*, 1996). J'ai retiré de cette expérience trois points qui ont guidé ma position vis-à-vis de la modélisation par la suite :

(i) l'intérêt de ce type de formalisation des connaissances pour représenter des systèmes complexes, en donner une représentation simplifiée et partageable et explorer de nouvelles configurations sur des bases objectivées dès lors que le modèle est validé par les acteurs avec lequel il est conçu et utilisé ;

(ii) le risque de voir la dimension informatique prendre le pas sur la dimension d'apprentissage et d'interaction entre acteurs, avec une complexification des outils et des représentations sur lesquelles ils se basent liée aux avancées technologiques ;

(iii) le caractère générique des formalisations construites, facilitant leur publication [ACL 4, ACL 5, ACL 6, ACL 8, ACL 10, ACL 12, ACL 21, ACL 22, ACL 23] et leur utilisation dans l'enseignement (montage d'un module de deux semaines à SupAgro / Institut des régions chaudes portant sur la gestion de la qualité dans les bassins d'approvisionnement agro-alimentaires, durant lequel les étudiants manipulaient l'outil de simulation conçu sur la canne à sucre).

2. Modéliser la gestion collective des flux de ressources pour aider à la coordination

2.1. Bases conceptuelles

Mon implication dans la conception et l'utilisation de modèles visant à représenter la gestion des périmètres irrigués et des bassins d'approvisionnement part de l'intérêt d'intervenir sur les processus de coordination entre acteurs pour améliorer les performances de chaque entité du système étudié. De telles interventions présentent l'avantage de toucher un grand nombre de producteurs à travers les

choix collectifs réalisés. L'intervention sur les sucreries de canne à La Réunion²² m'a permis de tester ces intuitions. Trois principes ont guidé les choix réalisés à l'époque, que je mets encore en pratique dans des situations semblables :

(i) **les conflits entre clients et fournisseurs** sont fréquents dans les chaînes d'approvisionnement, le partage de la valeur comme le respect des clauses contractuelles étant sources de multiples tensions orientant les décisions des acteurs (Emiliani, 2003). Traiter ces situations par les conflits, quand bien même ils sont à l'origine de la demande initiale, présente le risque d'être utilisé par l'une ou l'autre des parties pour porter ses intérêts et *in fine* d'en être évincé.

(ii) face à un problème manifesté par l'une ou l'autre des parties, il est préférable de **mettre l'accent sur la recherche de solutions de compromis** débouchant sur une augmentation de la valeur totale produite par l'organisation collective. On s'intéresse alors aux conditions et mise en œuvre de la coopération entre acteurs, le partage de la valeur devenant un problème de second ordre (Hamel *et al.*, 2002). Concrètement à La Réunion cela s'est traduit par une reconstruction de la demande depuis un problème de coût de production vers une focalisation sur la gestion des flux physiques de canne des parcelles aux usines. Dans ce domaine chacun peut en effet énoncer ses pratiques et contraintes de façon plus neutre que sur les questions liées aux coûts de production et au système de paiement de la canne, et les voies d'amélioration sont susceptibles de créer de la valeur à l'échelle de l'ensemble du bassin.

(iii) **Les outils** développés pour comparer différents scénarios d'évolution doivent être compréhensibles pour les acteurs, tant dans leur structure que dans leur fonctionnement et leurs sorties, afin qu'ils puissent en évaluer la pertinence par rapport à leurs situations et l'utilité par rapport à leurs questionnements. Ils **doivent être rapidement opérationnels**, de façon à gagner la confiance des acteurs par la crédibilité des réponses données à leurs demandes. Concrètement nous avons développé un outil de simulation pour conserver la souplesse nécessaire à la prise en compte de situations variées (Cros *et al.*, 2004), centré sur la représentation des flux de canne, dépourvu de règles modélisées sous la forme « SI ... Alors... » pour limiter la complexité de conceptualisation et de développement, et développé sous tableur dès le premier stage de fin d'étude d'ingénieur de S. Gaucher (Gaucher, 1996).

2.2. Application à l'approvisionnement de sucreries de canne

Cette section illustre la façon dont j'ai mis en œuvre ces principes sur le bassin d'approvisionnement de Sezela (Afrique du Sud), en parallèle avec un travail similaire conduit par C. Lejars à La Réunion à partir des travaux réalisés par S. Gaucher. Pour plus de détails, l'article dont est tirée cette intervention est présenté en annexe 3 [ACL 4].

- Problématique

La question discutée avec l'industriel et les représentants des producteurs était la suivante : **Comment valoriser la diversité de courbes de qualité de la canne du bassin de Sezela, actuellement non exploitée par l'organisation des approvisionnements, pour augmenter la quantité de sucre produite sans investissement agricole ou industriel supplémentaire ?** Cette question porte à la fois sur les caractéristiques des lots livrés, la façon dont ils sont livrés durant la campagne et leur transformation en sucre. Ce type de question, qui se posait également à La Réunion, était traité dans la littérature sous deux formes : des études purement logistiques, basé sur des outils de simulation industrielle (Barnes *et al.*, 1998 ; Giles *et al.*, 2005), ou la recherche d'une organisation optimale des flux, à partir d'algorithmes mathématiques (Higgins, 1999 ; Higgins et Muchow, 2003). Les limites de la première approche résident dans la non prise en compte des dimensions planification / pilotage des flux à l'échelle du bassin de collecte, et des règles d'organisation qui en découlent. La seconde approche prend en compte ce niveau, mais semble mieux adaptée à des systèmes intégrés, avec un coordinateur central qui intègre l'amont de la chaîne en contrôlant les moyens de transport de la canne. Elle paraît difficile à mettre en œuvre dans un contexte où les différents acteurs disposent de plus d'autonomie, comme dans les deux cas étudiés.

²² Ce premier travail a fait l'objet d'une partie de la thèse de Séverine Gaucher, dont les résultats n'ont malheureusement pas été suffisamment valorisés à l'époque [ACLN 6].

- Méthode

Magi[®], l'outil de simulation que nous avons développé d'abord sous tableur puis sous un format plus convivial²³, cherche à lever ces limites [ACL 6]. Il est fondé sur un modèle conceptuel reproduisant l'approvisionnement d'une sucrerie de canne tiré de l'analyse exposée au chapitre 2, et fonctionne au pas de temps hebdomadaire, suffisant pour traiter des questions traitées. La chaîne logistique est représentée en trois maillons : les unités de production (UP), les opérateurs intermédiaires (OI) et l'usine. Les UP sont définies comme des entités individuelles caractérisées par une quantité de canne, une courbe de qualité et une capacité de récolte. Ces UP peuvent varier en fonction des scénarios simulés : typologie d'exploitations, zones géographiques de qualité homogène, voire exploitations individuelles. Les OI sont chargés du transfert de la canne vers l'usine et sont caractérisés par une capacité de transfert. L'usine est caractérisée par sa capacité de broyage, fonction de sa capacité industrielle nominale, d'un taux de panne moyen sur la campagne et d'une durée d'entretien hebdomadaire. Les voies d'acheminement de la canne entre ces trois entités sont également définies.

Sur cette base le modèle calcule la production de sucre issue d'un mode d'organisation donné en deux étapes (Figure 19). La première traite la phase de planification et de pilotage des livraisons. La campagne de coupe est d'abord définie par sa durée et ses dates de début et fin, puis les cannes sont livrées à l'usine en fonction de règles d'allocation des droits à livrer aux unités de production, sous contrainte des capacités rencontrées le long de la chaîne. Le déroulement simulé de la campagne fournit la répartition hebdomadaire des apports de canne, qui sont utilisés par la seconde étape qui transforme les cannes en sucre, en fonction de leur qualité et des pertes en cours de transformation.

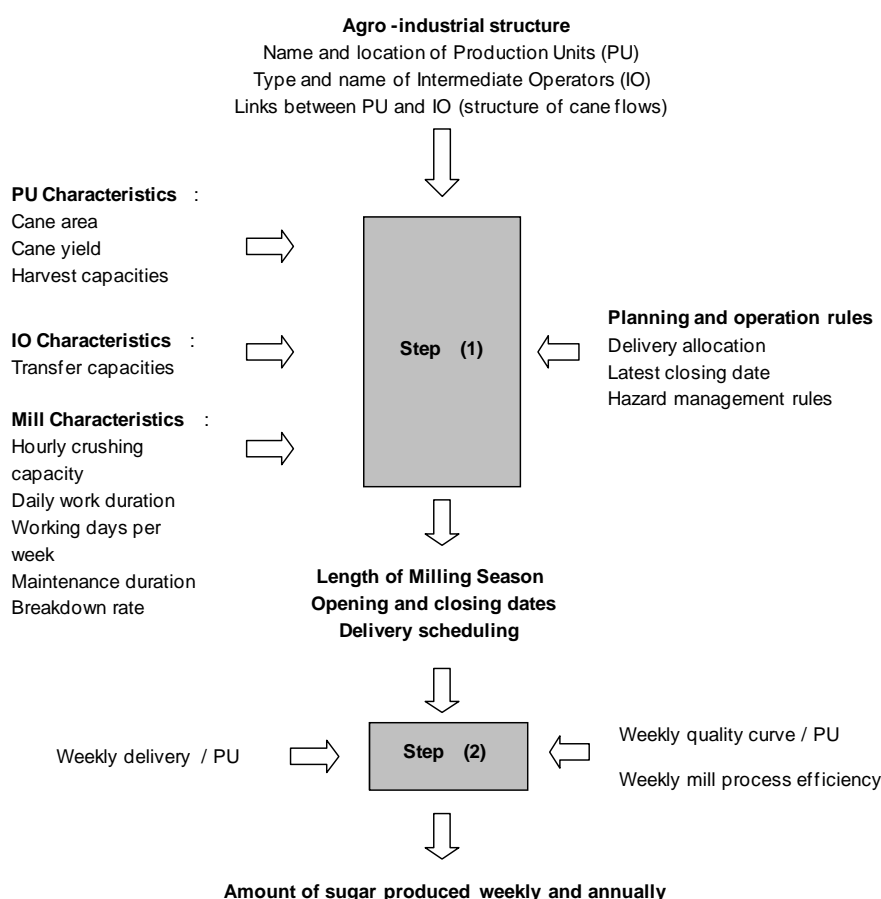


Figure 19. Modèle conceptuel de l'approvisionnement d'une sucrerie de canne

L'approvisionnement de la sucrerie est représenté selon un processus en deux étapes : la première (Step 1) construit un calendrier de livraison en fonction des caractéristiques des éléments de la chaîne de production (PU, IO, Usine) et des règles de planification des flux de canne. La seconde (Step 2) exécute le plan et transforme les cannes livrées chaque semaine en sucre en fonction de leur qualité hebdomadaire (source : ACL 4).

²³ Téléchargeable à l'adresse suivante : <http://agri-logistique.cirad.fr>

- Résultats

L'étude s'est déroulée en plusieurs étapes. Dans un premier temps **des zones homogènes du point de vue de la qualité de la canne** ont été définies, à partir de variables topographiques (altitude), climatiques (pluviosité et température) et économiques (type d'exploitation) (Figure 20). Deux zones dépendent de critères climatiques, à savoir la zone côtière (Coastal) caractérisée par une pluviosité et des températures plus élevées que la zone de plateau (Inland), où la baisse plus rapide des températures à l'automne et des précipitations plus faibles permettent une maturation plus précoce de la canne. La troisième zone (SSG pour Small scale growers) comprend les petits producteurs de canne, cultivant 1 à 2 ha par comparaison aux grandes exploitations de 50 à 300 ha. Leurs modalités de gestion de la récolte tiennent peu compte de la qualité de la canne. Chaque exploitation a été affectée à une zone et les courbes de qualité ont été reconstituées pour chaque zone et chaque campagne de 2000 à 2003 (Figure 21). Une fois ces courbes reconstituées, leur stabilité interannuelle au sein d'une zone et la stabilité des différences entre zones d'une année à l'autre ont été analysées. Cette analyse a confirmé les hypothèses faites par l'industriel, à savoir qu'Inland présente des cannes plus riches que Coastal en début de campagne. Ce différentiel varie selon les saisons, mais demeure globalement positif durant la première partie de la campagne.

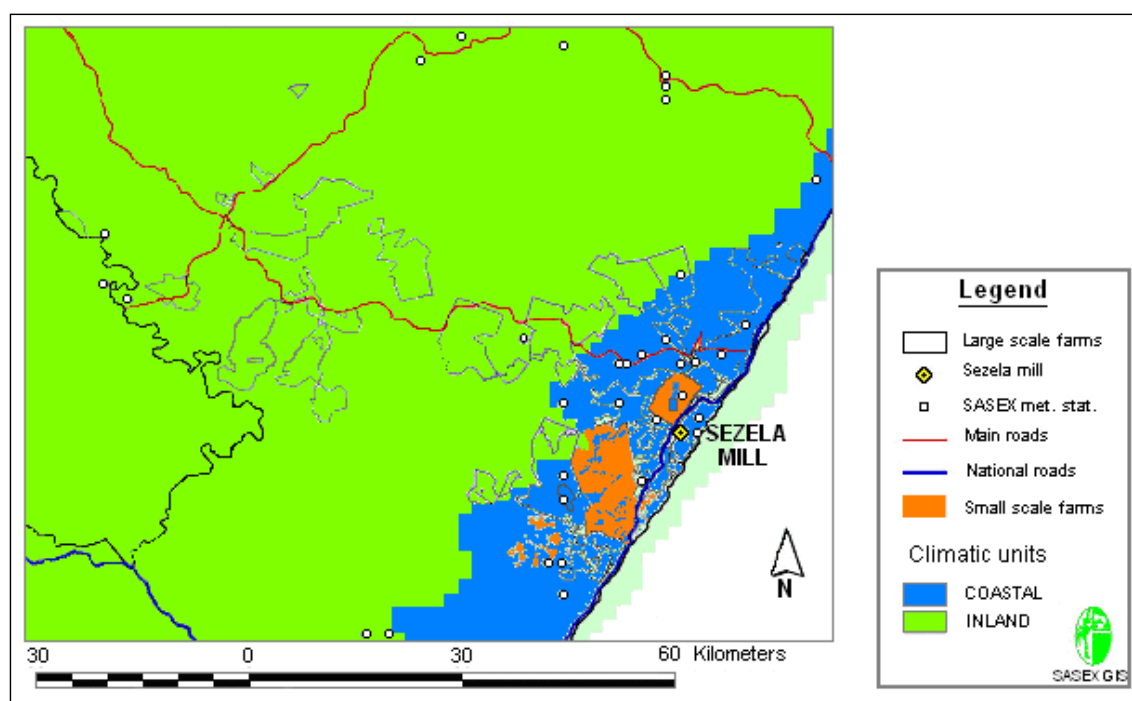


Figure 20. Cartographie des Unités de Production considérées dans la modélisation du bassin d'approvisionnement de Sezela

Les zones Inland et Coastal comprennent les grandes exploitations cannières et se distinguent par leurs conditions d'altitude, pluviosité et températures. La zone orange correspond aux petites exploitations cannières (source : ACL 15).

Sur la base de ce constat et après discussion avec l'industriel, trois scénarios ont été simulés à l'aide de Magi. Chaque zone a été assimilée à une unité de production à laquelle ont été rattachées une quantité de canne et une courbe annuelle de qualité conforme aux données observées. De même la durée de campagne et la capacité de broyage de l'usine reproduisent les valeurs effectivement rencontrées chaque année. **Les scénarios diffèrent par les règles d'allocation des droits à livrer** définies pour chacune des deux zones Coastal et Inland, SSG restant à l'identique pour ne pas augmenter son niveau de contrainte (Figure 22). Le principe consiste à jouer sur le positionnement et la durée des périodes de livraison par zone, tout en conservant un droit à livrer hebdomadaire constant dans ces périodes.

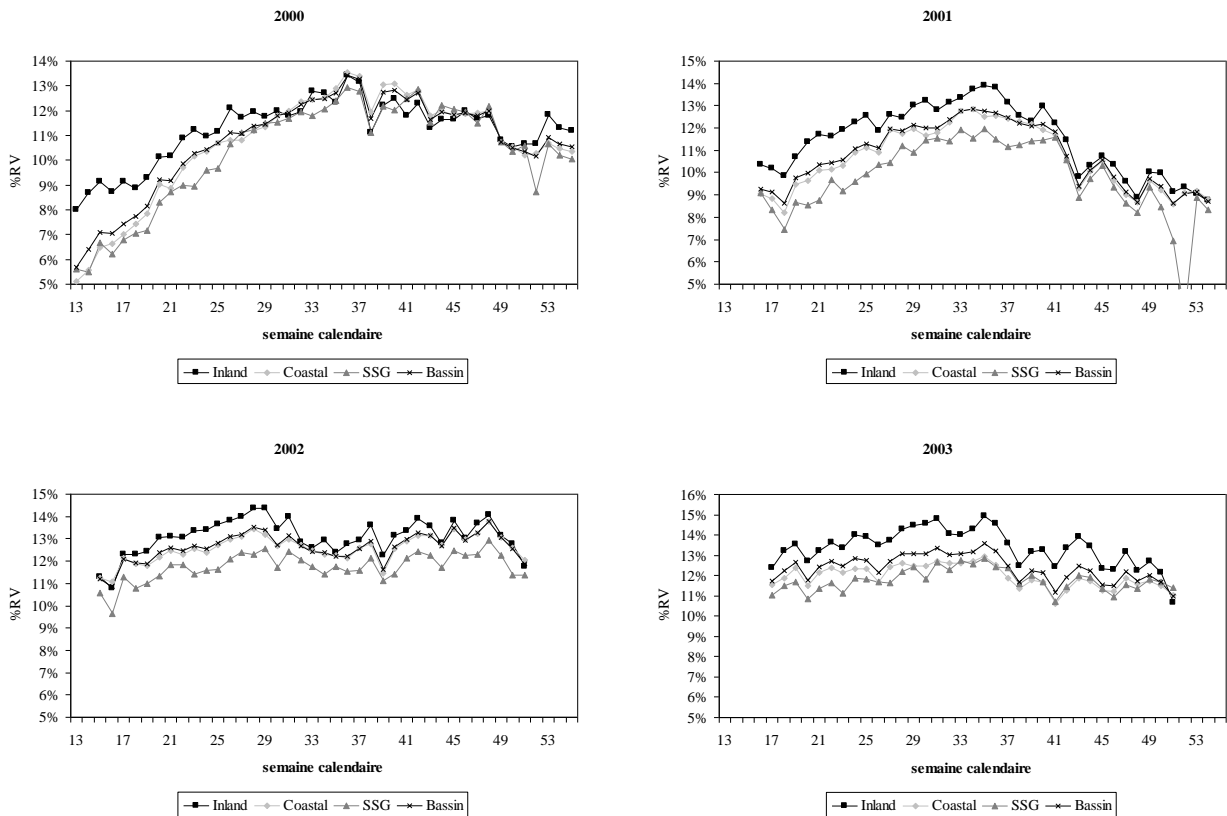
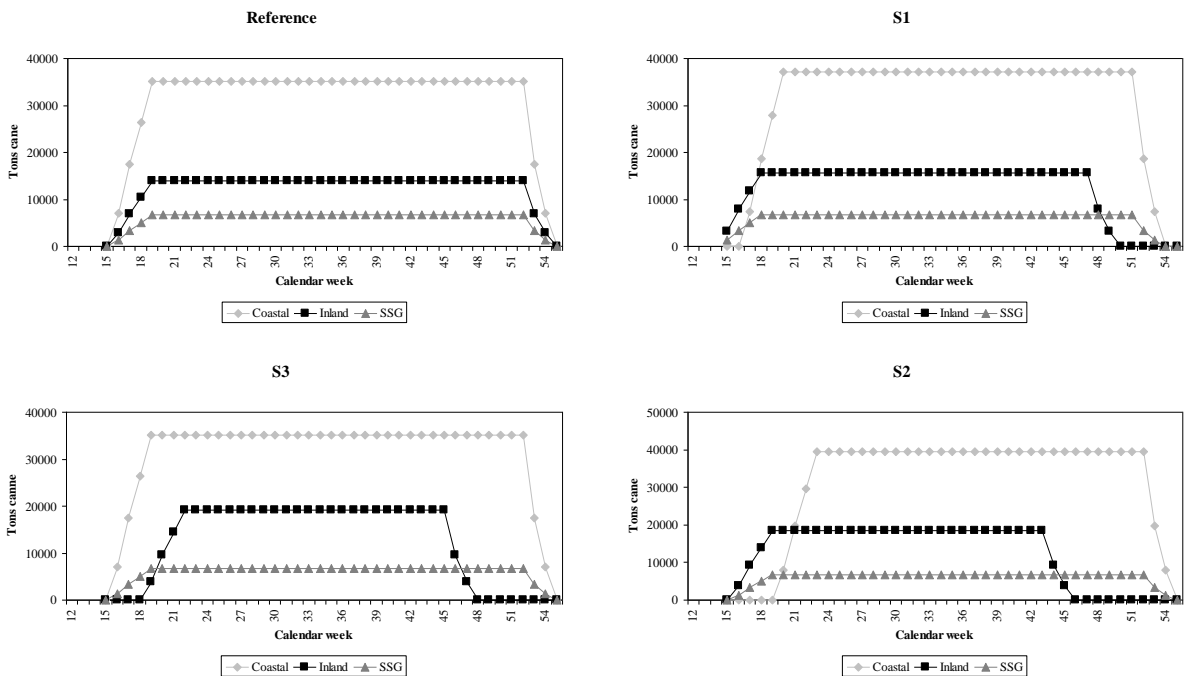


Figure 21. Courbes de qualité hebdomadaire de la canne à sucre par zone sur le bassin de Sezela (2000-2003)
 RV = Recoverable Value. Chaque valeur représente la moyenne des livraisons de la zone *i* pour la semaine *j* (source : ACL 4).



SSG: Small Scale Growers

Figure 22. Scénarios d'organisation des plans de livraisons de canne à Sezela
 Les scénarios varient par leurs dates de début et fin de livraison par zone, alors que les droits à livrer hebdomadaires restent uniformes sur chaque zone (source : ACL 4).

Chaque scénario a été simulé pour les années 2000 à 2003 afin d'évaluer la stabilité interannuelle des résultats et le respect des contraintes de capacité. Les résultats ont été comparés à un scénario de référence correspondant à la situation actuelle. Les gains obtenus varient, selon l'année, de 0,1 à 2,5 % de la production totale d'équivalent sucre (RV pour *Recoverable Value*), soit 400 à 6 000 tonnes RV par saison représentant jusqu'à 1 million d'euros (Figure 23).

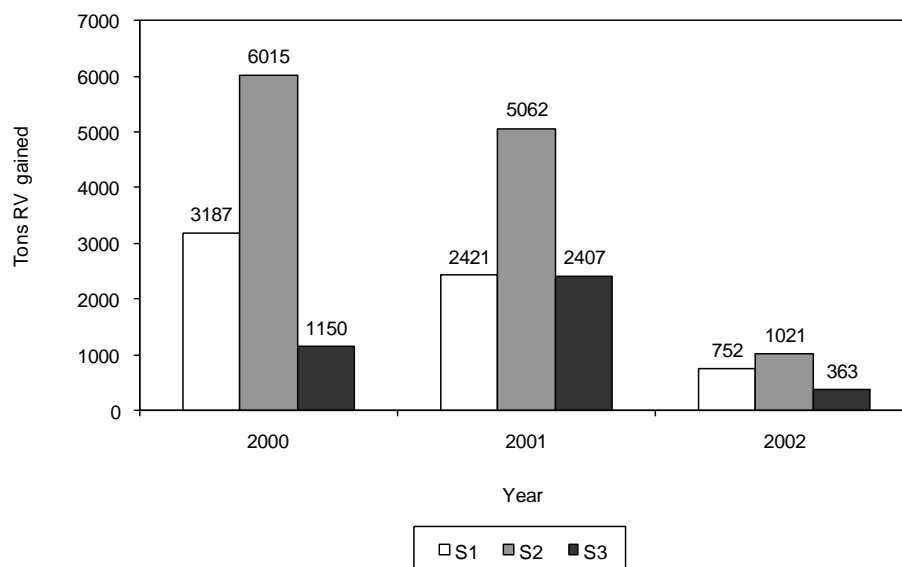


Figure 23. Gains simulés d'équivalent-sucre par scénario d'approvisionnement à Sezela

Les barres représentent les gains en tonnes RV obtenue par scénario en comparaison avec la situation observée chaque année (S0) (source : ACL 4).

Ces résultats ont été présentés pour discussion à un groupe de travail composé de représentants de l'industriel et des producteurs. Chacun a convenu des conséquences positives des alternatives proposées sur la production de sucre, mais les producteurs ont soulevé deux points non étudiés. D'une part ils ont souhaité que des scénarios intégrant une réduction de la durée de campagne, rendue possible par la capacité de transformation excédentaire de l'usine, soient simulés. L'industriel a refusé, son objectif étant de faire tourner le plus longtemps possible durant la campagne une unité de transformation de la bagasse en furfurool, sous-produit très lucratif de la canne mais sur lesquels les producteurs ne retirent aucun bénéfice après avoir refusé de participer au montage financier de l'opération. **Le processus de simulation a ainsi mis en évidence une divergence majeure et non négociable entre les acteurs.**

Le second point concernait le lien entre le passage à des règles d'approvisionnement par zone et la nature du référent inclus dans le système de paiement relatif²⁴. Cette seconde question, qui touchait surtout les producteurs, a fait l'objet d'un travail ultérieur comportant également une part de simulations [ACLN 8]. *In fine* les acteurs ont préféré conserver leur mode d'organisation uniforme des livraisons, probablement parce que les gains espérés d'une organisation plus complexe n'étaient pas jugés suffisant et trop variables d'une année sur l'autre. Les évolutions sur ce bassin ont surtout concerné l'organisation logistique au quotidien, un problème que nous avons ensuite traité sur un autre bassin d'usine en combinant Magi et un logiciel de simulation logistique pour évaluer les conséquences d'un passage de la récolte manuelle à la récolte mécanique de la canne [ACL 10].

- Discussion

Cette expérience a permis de tirer un certain nombre d'enseignements présentés dans un article plus réflexif [OS 7]. La démarche d'intervention rejoint par certains aspects les travaux conduits en modélisation d'accompagnement sur la gestion des ressources naturelles (Voinov and Bousquet, 2010 ; Bousquet *et al.*, 2007), mais s'en distingue par la nature des modèles qui sont utilisés

²⁴ Dans la formule présentée en Équation 5 la référence de comparaison pour chaque livraison est le bassin tout entier. L'étude a consisté à simuler des scénarios où la référence serait la zone de rattachement de l'exploitation.

(représentation ou non des règles de décision et des processus biophysiques). L'articulation avec les autres disciplines a permis des avancées en économie, gestion et agronomie. Dans ce dernier cas, des tentatives ont été faites tant à La Réunion qu'en Afrique du Sud, pour **articuler notre approche avec des modèles de culture développés sur la canne** (Langellier et Martiné, 2007 ; Singels *et al.*, 2005). Il s'agissait par exemple d'élargir la gamme d'années climatiques pouvant être prises en compte au-delà des analyses faites sur les séries historiques de livraison détenues par les usines, d'analyser la relation entre date de coupe et rendement en canne ou de simuler des scénarios de combinaisons variétales à l'échelle du bassin. Ces tentatives ont buté sur les limites de ces modèles de culture : validité sur quelques variétés seulement, non prise en compte de la qualité de manière mécaniste. De même il n'a pas été possible avec les connaissances disponibles, d'intégrer dans les réflexions les effets potentiels d'infestations de bio-agresseurs tels qu'*Eldana saccharina* malgré leur importance économique sur le bassin étudié en Afrique du Sud (Way and Goebel, 2003). Ces exemples illustrent néanmoins l'intérêt d'une démarche de réflexion prospective à une échelle telle que le bassin d'approvisionnement pour générer des besoins de connaissance et des questions agronomiques à traiter à l'échelle de la parcelle, voire en deçà pour ce qui concerne les mécanismes physiologiques contrôlant la qualité de la canne.

Sur ces mêmes bases les travaux conduits sur les périmètres irrigués ont fait l'objet d'outils formalisés de gestion qui ne feront pas l'objet d'une présentation dans ce document :

. WaDI (Water Delivery for Irrigation), un outil simulant les relations entre offre et demande en eau à l'échelle d'un périmètre irrigué gravitaire pompant l'eau dans une ressource de surface, avec application sur le cas brésilien du rio São Francisco [ACL 5] ;

. Simon (Système d'Information de la Maintenance à l'Office du Niger), un outil de gestion de l'information liée à la maintenance, qui fut la première étape d'un vaste projet de modernisation de l'ensemble du système d'information de l'Office du Niger [ACL 12] ;

. Une tentative de développement d'un outil de simulation de systèmes tarifaires en périmètre irrigué, testé sur un cas dans le delta du fleuve Sénégal [ACLN 5].

3. Modéliser pour aider à la conception des systèmes de production dans les exploitations laitières et de polyculture-élevage

A mon retour d'Afrique du Sud j'ai rejoint une équipe de recherche ayant l'exploitation agricole pour objet central d'étude. Je suis donc revenu à ce niveau d'analyse, que j'avais quelque peu délaissé pendant les années passées à étudier la gestion des périmètres irrigués et des bassins d'approvisionnement sucriers (Figure 2). J'ai alors souhaité appliquer aux exploitations agricoles les acquis méthodologiques obtenus en matière de démarche d'accompagnement des organisations collectives. L'objectif général était de **concevoir des démarches s'appuyant sur des modèles numérisés, permettant d'aider les producteurs à réfléchir aux évolutions tactiques et stratégiques de leurs systèmes de production, dans une perspective de prise en main par des conseillers agricoles.**

3.1. Etat de l'art

Un état de l'art [ACL 20, résumé dans l'**Encadré 1**] a montré que **peu d'expériences associent accompagnement des producteurs et utilisation de la modélisation** (Woodward *et al.*, 2008). Le projet australien FARMSCAPE en donne un exemple, mais centré sur le pilotage des processus techniques (Carberry *et al.*, 2002), comme dans le cas des systèmes fourragers en France (Moreau *et al.*, 2009). De leur côté, les expériences en Afrique de l'Ouest se focalisent sur la gestion de l'information dans les exploitations à travers la démarche de « conseil aux exploitations familiales » (Faure et Kleene, 1994).

Encadré 1. Principaux résultats de l'état de l'art sur les démarches de conception de systèmes de production agricole

La revue de littérature a été effectuée sur la base de 77 références publiées dans des revues scientifiques internationales entre 1999 et 2010. Ces références ont été classées en 4 types fonction de la démarche de conception présentée :

. **Approche participative** : ces travaux mettent l'accent sur des méthodes participatives entre chercheurs, producteurs et conseillers agricoles, ne faisant pas appel à des modèles numérisés mais plutôt à des expérimentations de techniques innovantes *in situ* (ex : Cardoso *et al.*, 2001). Elles montrent l'intérêt du processus participatif pour stimuler la motivation et les apprentissages des producteurs, et pour modifier les connaissances et représentations des chercheurs. Mais l'absence d'outils prospectifs rend l'ensemble de la démarche très qualitative et longue à mettre en œuvre.

. **Le prototypage** : la méthode de prototypage a été formalisée par Vereijken (1997) pour concevoir des systèmes de production innovants à l'échelle d'exploitations en grande culture. Elle passe par 5 phases allant de la conception d'un prototype à dire d'experts à sa mise en œuvre sur des exploitations pilotes, avant sa diffusion à l'ensemble des exploitations potentiellement intéressées. Assez largement utilisée, quoique souvent à l'échelle du système de culture (Lançon *et al.*, 2007) plutôt que du système de production (ex : Langeveld *et al.*, 2005), cette méthode présente l'avantage de réunir dans un même cadre des connaissances provenant de sources diverses pour concevoir des systèmes innovants qui se veulent cohérents. Ses utilisateurs ont néanmoins relevé certaines limites : difficultés de validation des connaissances utilisées (Rossing *et al.*, 1997), pas de réelle possibilité de tester les risques liés aux aléas climatiques du fait de la lourdeur et longueur de la phase expérimentale (Lançon *et al.*, 2007), ce qui peut être résolu par le recours à des modèles de culture (Dogliotti *et al.*, 2004 ; Waithaka *et al.*, 2006 ; Blazy *et al.*, 2009) ou d'exploitation (Sterk *et al.*, 2006; Rossing *et al.*, 1997). Cependant la durée de conception de ces modèles peut ralentir le processus de prototypage (Ten Berge *et al.*, 2000; Sterk *et al.*, 2006).

. **Les méthodes basées sur des modèles numérisés** : Ces travaux représentent la majorité des références recensées (57 sur 77). De fait, de nombreux auteurs considèrent la modélisation comme un moyen de représenter les interactions complexes entre composantes d'une exploitation agricole, et d'évaluer *ex-ante* les conséquences d'innovations technologiques ou d'alternatives de gestion sur ses performances. Nous avons identifié quatre catégories de travaux, en fonction des objectifs visés par les auteurs, les fonctions dévolues aux modèles et la façon dont ils représentent le fonctionnement des exploitations :

- *Evaluation ex-ante d'innovations technologiques sur les performances des exploitations* : l'objectif pour les chercheurs est d'identifier l'intérêt technico-économique de leurs innovations techniques en utilisant un outil d'optimisation appliqué sur des fermes types (ex : Sanchez-Giron *et al.*, 2007 pour le zéro-labour). Utilisés avec des producteurs, ces modèles ont parfois permis de mieux comprendre le fonctionnement des exploitations agricoles (Rossing *et al.*, 1997).

- *Définition de stratégies de gestion basées sur la modélisation de processus biophysiques* : ces travaux représentent l'exploitation agricole comme un ensemble de processus biophysiques en interaction, dont sont dérivées des performances technico-économiques. Ils sont conduits sur des exploitations virtuelles, l'analyse des résultats simulés permettant de comparer les recommandations de la recherche avec les pratiques des producteurs (Barioni *et al.*, 1999 ; Rowe *et al.*, 2006). Ces travaux sont parfois couplés à un exercice de prototypage (Aarts *et al.*, 2000), mais demeurent en général éloignés de considération participative avec les producteurs.

- *Exploration de stratégies innovantes de gestion basée sur la modélisation du fonctionnement des exploitations* : les 37 travaux rentrant dans cette catégorie s'intéressent essentiellement aux exploitations de polyculture-élevage, pour lesquelles la modélisation représente un bon outil de représentation des relations entre productions végétales et animales. Les thématiques traitées sont diverses, de la gestion de la fertilité (Giller *et al.*, 2011) à la gestion des systèmes fourragers (Schils *et al.*, 2007). Les techniques de modélisation couvrent à la fois l'optimisation (Val-Arreola *et al.*, 2006), la simulation mathématique (Tittonell *et al.*, 2009) et les modèles à base de règles (Vayssières *et al.*, 2009). La moitié des travaux se préoccupent d'accompagnement des producteurs. La modélisation est alors vue comme un moyen d'améliorer les décisions (un seul cas, ancien : Dowle *et al.*, 1988), d'améliorer les relations entre chercheurs, producteurs et conseillers (Louhichi *et al.*, 2004), de produire des recommandations mieux adaptées aux situations des producteurs (Cabrera *et al.*, 2005), ou de stimuler les processus d'apprentissage des producteurs et conseillers (Rotz *et al.*, 1999 ; Cros *et al.*, 2004). Mais deux études seulement mentionnent que cet objectif a été testé avec des producteurs (Schils *et al.*, 2007; Vayssières *et al.*, 2009).

- *Evaluation ex-ante de combinaisons d'activités à l'échelle de l'exploitation* : les 12 travaux recensés dans cette catégorie sont basés sur des outils d'optimisation visant à intégrer dans un même modèle des variables biophysiques, techniques et économiques pour évaluer l'intérêt de combinaisons imaginées par les chercheurs

(Agbonlahor *et al.*, 2003), ou comme base de réflexion entre chercheurs, producteurs et conseillers (Herrero *et al.*, 1999). Dans ce dernier cas les résultats sont utilisés pour éclairer des décisions tactiques (Shafiri and van Keulen, 1994) et stratégiques (Dogliotti *et al.*, 2005), ou pour discuter de questions environnementales (van de Ven and van Keulen, 2007). Ces expériences sont conduites avec des exploitations réelles, mais le processus d'accompagnement est rarement analysé. A ce propos Dogliotti *et al.* (2010) relatent une expérience en cours pour mieux adapter l'utilisation de ces outils aux perceptions et demandes des producteurs.

. **Les travaux orientés par un objectif de conseil aux producteurs** : L'expérience conduite autour d'Otelo est parmi les 9 références relatant des travaux cherchant à concevoir des outils de modélisation à destination du conseil agricole. La plupart de ces travaux portent sur des exploitations laitières et traitent des équilibres à trouver entre besoins alimentaires du troupeau et ressources fourragères disponibles sur l'exploitation (Dobos *et al.*, 2004 ; Donnelly *et al.*, 2002).

(source : ACL 20)

3.2. Principes de la démarche

L'orientation donnée à mes travaux se situe explicitement dans **un objectif de conseil aux producteurs**. Plusieurs projets de recherche appliqués aux exploitations laitières ou de polyculture-élevage ont alimenté ce processus (Tableau 1). Ces travaux en cours n'ont été que partiellement publiés à ce stade. J'utiliserai le cas marocain, arrivé à son terme, pour illustrer la démarche [ACL 8, ACL 13]. Trois articles ont été récemment soumis, l'un sur le cas brésilien [ACL 21], l'autre sur le cas burkinabé [ACL 22], auxquels s'ajoute une analyse transversale des différentes expériences [ACL 23].

Tableau 1. Nature des projets de recherche et applications développées (en italique) en fonction du pays et du type d'exploitation

	Exploitations laitières	Exploitations de polyculture-élevage
Brésil	Pépites ^b <i>DairyMotion</i>	
Burkina-Faso		Corus ^a <i>Cikzda</i>
Maroc	Sirma ^c <i>Dalib</i>	
Madagascar		Pépites ^b <i>Clifs, CalculRation CalculFerti</i>

^a Rôle de la modélisation pour la gestion durable des systèmes de production coton-céréales-élevage en Afrique de l'Ouest

^b Processus Ecologiques et Processus d'Innovation TEchnique et Sociale en Agriculture de Conservation

^c Economie d'eau en Systèmes Irrigués au Maghreb

La famille de modèles développés jusqu'ici répond à un même cahier des charges guidant le processus de conception et le développement et s'inspirant de l'expérience « canne à sucre » : (i) bien identifier avec les producteurs et les conseillers les questions à traiter et les composantes du système de production à prendre en compte, car la complexité des relations en jeu rend difficile la modélisation à la fois technique et économique d'une exploitation agricole dans son ensemble tout en demeurant opérationnel en termes de conseil ; (ii) rendre intelligible et transparent le modèle conceptuel sous-tendant les outils, afin d'en faciliter la validation par les producteurs et les conseillers ; (iii) développer rapidement un prototype informatique pour répondre dans un pas de temps court aux questions identifiées avec les acteurs ; (iv) simplifier la représentation des processus biotechniques lorsque les connaissances ou les informations locales font défaut.

Plusieurs prototypes informatisés, basés sur ce cahier des charges, ont été développés. Ils sont adaptables à une variété d'exploitations agricoles, potentiellement appropriables par des conseillers car ne nécessitant pas de connaissances informatiques spécifiques, et susceptibles d'évolutions sur la base des usages qui en sont faits. Développés sous Excel[®], ils simulent des stratégies de production évaluées à partir de **bilans offre-demande en ressources à l'échelle d'une exploitation agricole**. Les processus biotechniques sont représentés sous la forme de variables quantifiées à dire d'experts (rendements associés à des itinéraires techniques) ou de coefficients génériques tirés de la littérature (par ex. valeur nutritive des aliments ; exportations en N, P, K des cultures). **Les variables**

décisionnelles, ne sont pas internalisées sous forme de règles mais représentées dans le modèle par les pratiques qu'elles engendrent (sous-système technique de la Figure 6). Les producteurs et les conseillers sont intervenus dans la conception des modèles en fournissant les informations nécessaires à la compréhension de leurs processus de gestion technique et en évaluant la pertinence de leurs modes de représentation. Les conseillers sont également intervenus dans l'ergonomie des outils lors de leur prise en main : nature des écrans d'entrée et de sortie, facilité de saisie des variables d'entrée, modalités de présentation des résultats par scénario.

3.3. Application à des exploitations laitières au Maroc

Le premier outil, dénommé **Dalib** pour exploitation laitière, a été développé au Maroc (cf. ACL 8 en annexe 5 pour plus de détails). Il **simule la production laitière mensuelle d'une exploitation en comparant l'offre alimentaire**, constituée par la production fourragère propre à l'exploitation et ses achats en concentrés et fourrages, **à la demande alimentaire** liée à l'objectif de production laitière et à la conduite planifiée de l'atelier d'élevage. La relation entre offre et demande passe par le choix des rations journalières distribuées aux lots constitués au sein du troupeau. Deux questions sont particulièrement étudiées : En quoi l'offre fourragère de l'exploitation couvre-t-elle les rations envisagées par le producteur et quels sont les achats extérieurs d'aliments à prévoir ? En quoi ces rations couvrent-elles la demande alimentaire des animaux liée à la production de lait visée? Dalib est structuré en cinq modules (Figure 24) : paramètres techniques et économiques nécessaires aux calculs ; production fourragère mensuelle de l'exploitation, en vert ou stockée (surfaces, itinéraires techniques, rendements) ; demande alimentaire mensuelle du troupeau en fonction de sa structure (taille, race) et de son mode de conduite planifié (reproduction, allotement) ; rations distribuées chaque jour aux différents lots du troupeau ; résultats techniques et économiques des simulations.

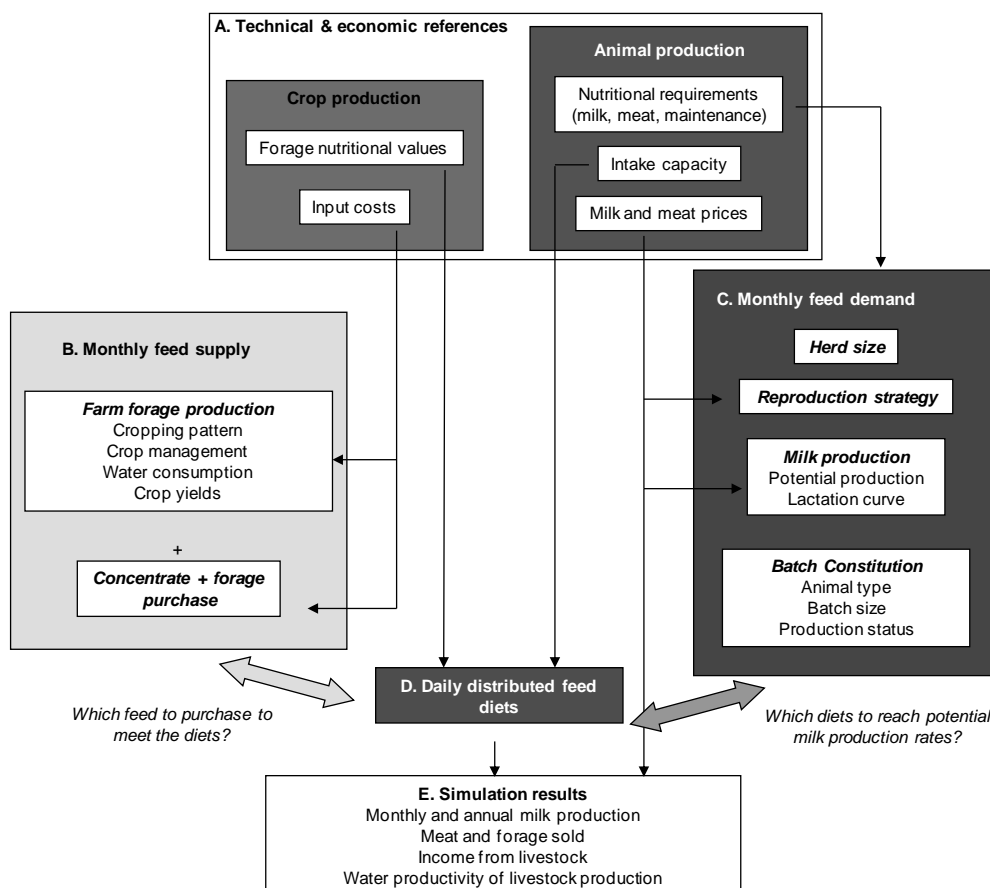


Figure 24. Modèle conceptuel de fonctionnement d'une exploitation laitière basé sur les relations offre-demande en ressources

Les flèches avec trait fin représentent les flux de données entre les 5 modules structurant le modèle. Les doubles flèches représentent les questions auxquelles souhaite répondre l'utilisation du modèle à travers la confrontation entre offre et demande alimentaire (source : ACL 8).

Son utilisation est illustrée ici sur le cas d'une exploitation de 2 ha et 5 vaches laitières, souhaitant substituer une partie de la luzerne par du maïs ensilage pour rééquilibrer le ratio énergie/azote de son offre fourragère et diminuer sa consommation en eau (Tableau 2). Les résultats des simulations (Figure 25) montrent que la production de lait demeure identique mais que les charges diminuent du fait d'une moindre consommation de son de blé acheté hors de l'exploitation, liée à une meilleure couverture des besoins énergétiques des vaches en lactation. Ce gain de revenu s'accompagne d'une meilleure valorisation de l'eau, le maïs ensilage, culture de printemps à cycle court, consommant moins d'eau que la luzerne au moment de son pic de production en été.

Tableau 2. Caractéristiques d'une exploitation agricole et des scénarios simulés par Dalib sur le périmètre irrigué du Tadla

	Luzerne (Situation initiale)	Luzerne + ensilage maïs
Nombre de vaches laitières	5	5
Objectif annuel de production (l/vache)	4500	4500
Assolement (ha)		
Luzerne	1,6	1,0
Bersim	0,4	1,0
Maïs ensilage (dérobé)	-	1,0
Composition de la ration (kg MS)		
Luzerne ou Bersim	10,0	7,0
Maïs ensilage	-	7,0
Son de blé	5,5	4,6

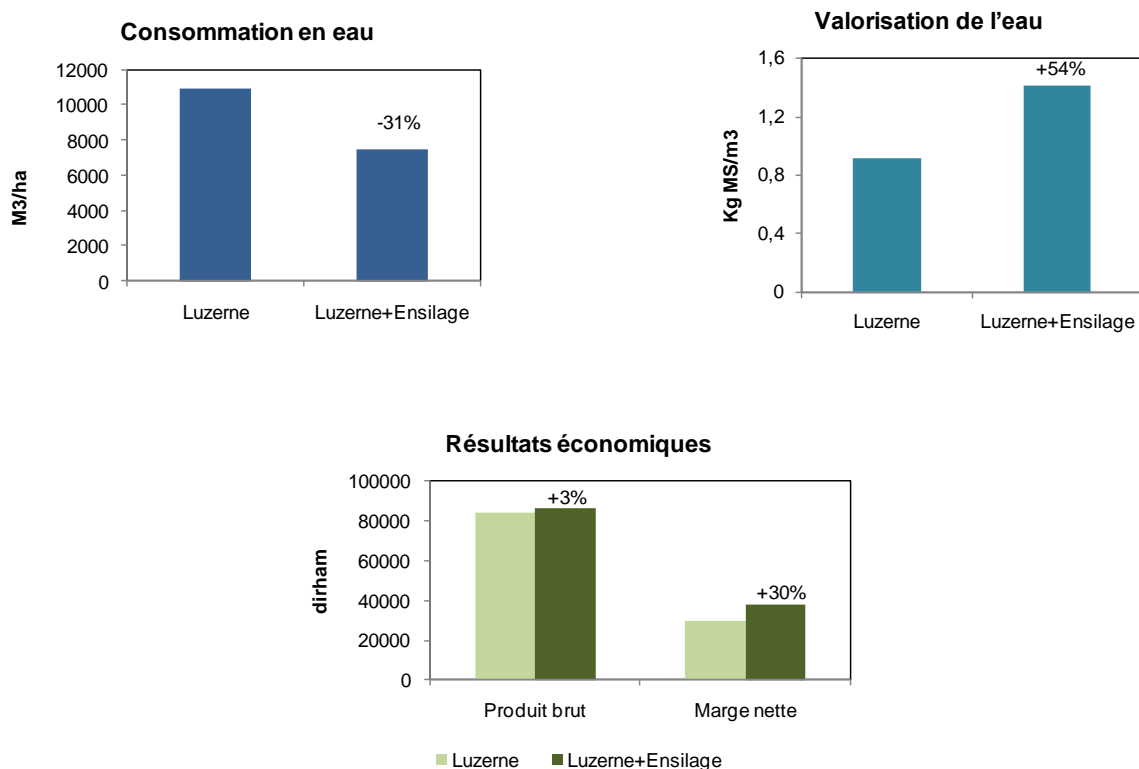


Figure 25. Résultats de scénarios comparant deux systèmes fourragers sur une exploitation laitière du périmètre du Tadla (Maroc)

Les comparaisons montrent l'intérêt de la substitution partielle de la luzerne par le maïs irrigué du fait d'une moindre consommation en eau et d'achats réduits de concentrés (source : ACL 23)

Dalib a été expérimenté avec 11 producteurs au sein d'une coopérative laitière ayant engagé un conseiller pour fournir un appui à ses adhérents, selon **un processus en six étapes**. La première phase relève du diagnostic, avec l'identification des problèmes ou projets du producteur (étape 1) et des besoins en formation sur certains aspects techniques liés aux calculs ultérieurs, tels que le rationnement des animaux ou les calculs économiques (étape 2). La seconde phase (étapes 3 et 4) lance le processus de réflexion prospective, avec la construction des scénarios à simuler sur la base d'un dialogue entre le conseiller et le producteur : quelles solutions envisagées face aux problèmes soulevés (étape 3) ? Comment paramétrer ces solutions et les projets annoncés par le producteur dans le logiciel (étape 4) ? La troisième phase conclut ce processus une fois les simulations réalisées : discussion des résultats avec le producteur puis poursuite éventuelle sur de nouveaux scénarios (étape 5) et évaluation de la démarche du point de vue du producteur (étape 6).

Cette chronologie s'étale sur au minimum deux rencontres de deux heures chacune, de façon à permettre, d'une part, au conseiller de paramétrer et simuler les scénarios et d'en analyser les résultats au bureau, d'autre part, au producteur de réfléchir aux présentations qui lui sont faites des résultats. Le processus peut théoriquement se poursuivre aussi longtemps que le producteur s'interroge sur ses projets, mais pratiquement il n'a pas dépassé une séquence complète lors de cette expérience.

3.4. Evolutions en cours

Plusieurs initiatives ont été prises à partir de cette première expérience marocaine. Celle-ci a servi de base conceptuelle pour développer une nouvelle application dénommée **DairyMotion**, prenant en compte l'utilisation des pâturages et la dynamique pluri-annuelle du troupeau, caractéristiques des exploitations laitières brésiliennes sur lesquelles J. Bernard a réalisé sa thèse [ACL 21]. Ce cas a permis d'étendre la généricité de la représentation, tout en complexifiant l'application informatique demeurée sous tableur.

Parallèlement l'application **Cikɛda** a été développée au Burkina-Faso sur le cas d'exploitations de polyculture-élevage en zone cotonnière, pour répondre à des questions touchant à la place du coton dans les assolements, à **l'intégration entre productions végétales et animales** à travers la mise en place d'ateliers d'embouche, à la planification de la campagne agricole. Cette application, très liée au contexte de production local, a permis de tester l'introduction d'un module « fertilisation » mettant en regard les exportations des cultures en NPK et les apports d'engrais, qu'ils soient de synthèse ou organique en provenance du troupeau.

Partant de ces expériences, j'ai lancé sur le terrain malgache à la faveur du projet Pépites, une synthèse des modèles « lait » et « polyculture-élevage » (Figure 26). Un premier travail a été réalisé dans le cadre d'un mémoire d'ingénieur [ING 42]. Une nouvelle application a été créée, dénommée **Clifs** (pour Crop-Livestock Farm Simulator) qui reprend les fonctionnalités de Dalib (et ultérieurement de DairyMotion) en matière de gestion du troupeau et de son alimentation, et celles de Cikɛda en matière de gestion de la fertilisation. Cet outil devenant plus complexe, nous avons séparé la représentation des décisions à l'échelle unitaire de l'animal ou de l'hectare, de celles relevant des équilibres offre-demande au niveau de l'exploitation agricole. Deux outils de simulation supplémentaires ont ainsi été créés : l'un, dénommé **CalculRation**, calcule par simulations successives, la ration nécessaire pour atteindre un certain niveau de productivité en lait, viande et énergie pour un animal donné ; l'autre, dénommé **CalculFerti**, fait de même avec la fertilisation permettant d'atteindre un rendement objectif pour une culture donnée. Les solutions trouvées sont ensuite injectées dans Clifs, mais ces deux outils peuvent être utilisés indépendamment, comme support de formation de groupe sur le rationnement ou la fertilisation par exemple. Cette approche permet de prendre concrètement en compte l'imbrication étroite au sein des exploitations entre les niveaux opérationnel (CalculRation, CalculFerti), tactique et stratégique (Clifs) représentée dans la Figure 5. Les perspectives offertes par cette composante de mes activités sont exposées en troisième partie (projet de recherche).

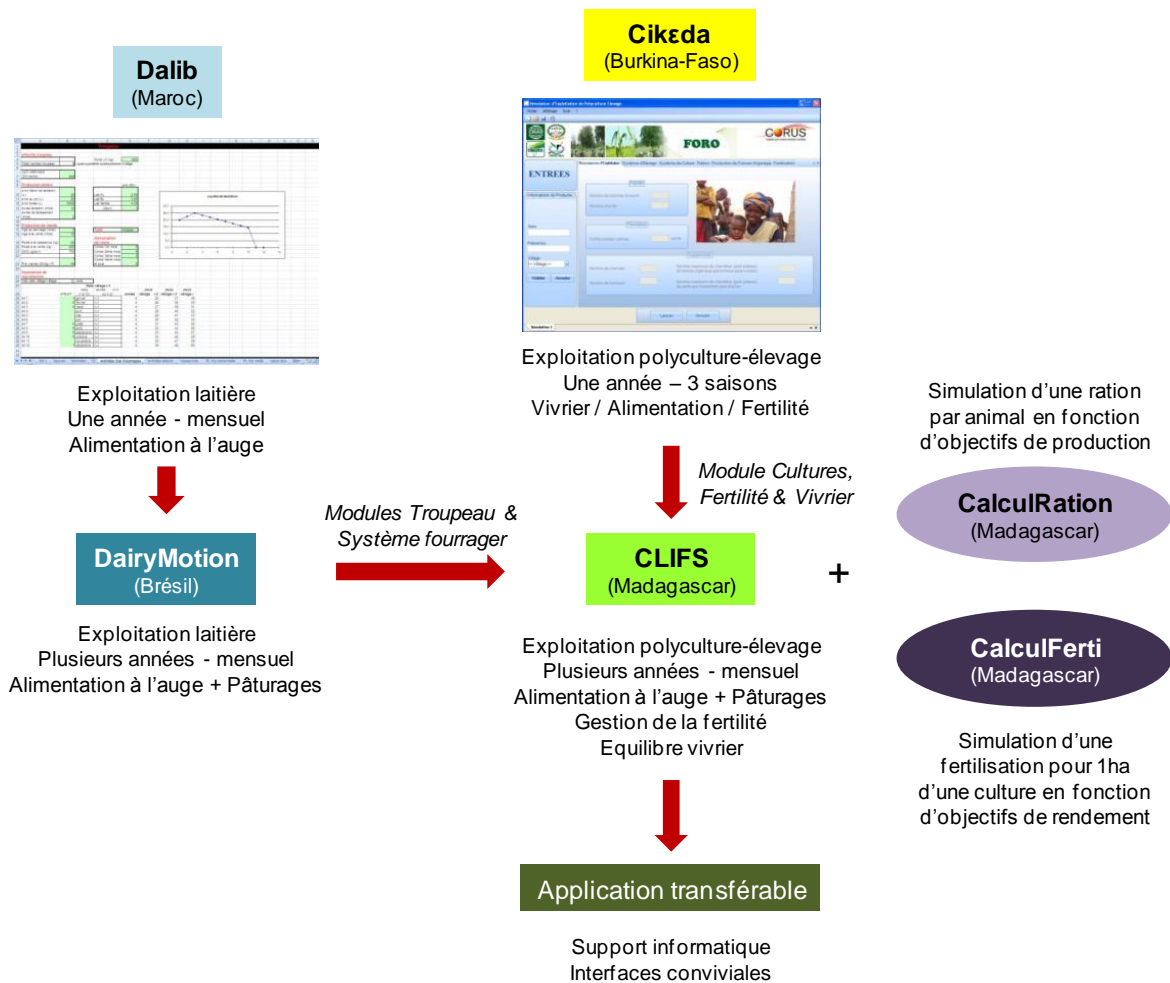


Figure 26. Filiation des différentes applications développées sur les exploitations laitières et de polyculture-élevage

4. Evaluation des démarches et modèles mis en œuvre

L'évaluation de tels démarches et modèles ne va pas de soi dès lors que l'objectif vise tout autant à représenter correctement les processus étudiés, comme dans tout travail de modélisation, qu'à faciliter les processus d'apprentissage des acteurs visés, qu'ils soient producteurs, industriels ou conseillers agricoles. Cette procédure d'évaluation, guidée par ce double objectif, a été plus particulièrement mise en œuvre au Burkina-Faso lors de l'utilisation du modèle Cikeda, et formalisée dans un article récemment soumis [ACL 22]. La procédure suivie s'est basée sur trois modalités de validation (Coquillard et Hill, 1997) : la **validation fonctionnelle** qui s'appuie sur l'analyse de sensibilité ; la **validation de répétitivité** qui consiste à comparer les résultats issus du modèle avec des données réelles ; la **validation par confrontation**, basée sur l'expérience des experts locaux, ici les producteurs et les conseillers agricoles.

4.1. Validation fonctionnelle

L'**analyse de sensibilité** a été conduite à l'aide de la méthode One Factor at Time (Jolicoeur, 2002), dont l'utilisation est assez aisée dans les modèles possédant de nombreux paramètres, ce qui est le cas de Cikeda pour pallier au déficit de données collectées par les producteurs. Cette méthode vise à identifier les paramètres ayant la plus forte influence sur les valeurs des variables de sortie (Nearing *et al.*, 1990). Les résultats (Tableau 3) permettent de suivre le fonctionnement du modèle. Ainsi par exemple une variation du taux de mortalité des vaches a un impact sur les effectifs et par conséquent (i) sur le bilan N du fait d'une variation des restitutions de fertilité par les déjections, (ii) sur le bilan

fourrager du fait d'une variation de la demande et (iii) sur le solde économique du fait d'une variation des achats d'aliments concentrés.

L'analyse de sensibilité montre également qu'une mauvaise estimation de certains paramètres peut biaiser l'analyse des résultats simulés. Par exemple une variation de 10 % de la teneur en azote des déjections de bovins ou du fumier peut entraîner une variation du bilan azoté de 80 à plus de 100 %. Les processus biophysiques étant représentés par des paramètres établis à dire d'experts ou issus de la littérature, on touche là une des limites de la démarche de modélisation employée. Des recherches ou enquêtes focalisées sur les processus à préciser peuvent être envisagées. Dans un dispositif de conseil réel, elles supposent qu'un lien étroit s'établisse entre chercheurs et conseillers pour orienter certains travaux.

Tableau 3. Analyse de sensibilité du modèle Cikæda

Paramètres	Pourcentage de variation suite à une variation de 10 % des paramètres (%)			
	Bilan N	Bilan céréaliier	Bilan UF	Solde Economique
N content of manure	168.6	0	0	0
Rendement grain maïs	0	25	17.5	21
Rendement grain coton	0	0	0	54
Rendement paille culture fourragère	0	0	22.5	4.1
Taux de mortalité vache	5	0	21	4
Besoin en UF d'un bœuf de trait	0	0	50	1.8

Exemples de quelques paramètres utilisés dans le modèle entraînant un pourcentage de variation significatif des sorties bilan N, bilan céréaliier, bilan UF (unité fourragère) et solde économique suite à une variation de 10 % de leur valeur initiale. L'analyse de sensibilité a été effectuée pour une année pluviométrique défavorable pour les paramètres fonction de la pluviométrie (rendement grain/paille des cultures et taux de mortalité), une année normale pour les autres paramètres (source : ACL 22)

4.2. Validation de répétitivité

Cette validation menée entre avril et décembre de la campagne 2009-2010 a concerné la production de grain et de paille des cultures et la production de fumure organique modélisées, qui rentrent dans le calcul des bilans céréaliiers, fourragers et minéraux. Les données réelles d'un échantillon de 26 producteurs durant la campagne 2009-2010 ont été confrontées aux données virtuelles obtenues par simulation. Pour chacune de ces sorties, deux critères statistiques ont été calculés à l'aide du logiciel Irene® (Fila *et al.*, 2003) : le coefficient de corrélation r , qui indique l'existence ou non d'une relation linéaire entre les valeurs mesurées et observées, et l'erreur de prédiction ou Normalized Root Mean Square Error (NRMSE) (Kobayaski et Us Salam, 2000).

Les résultats montrent **une erreur de prédiction élevée des valeurs simulées par le modèle**, mais des corrélations en général élevées entre les valeurs mesurées et simulées (Tableau 4). Ces résultats permettent (i) d'identifier les paramètres à réévaluer pour diminuer les écarts entre données réelles et données virtuelles (par exemple la teneur en potassium de la fumure organique tirée de la littérature) et (ii) de s'interroger sur la façon dont sont représentés les processus dans le modèle. Par exemple, la relation entre rendement et pluviométrie ne tient pas compte de l'effet des pratiques de fertilisation ou des types de sol, entraînant une forte erreur de prédiction des productions de grain et de paille. Malgré ces erreurs, le modèle est capable de **rendre compte des ordres de grandeurs** de la production de biomasse et des apports d'éléments minéraux pour les différents systèmes de culture, ce qui correspond aux exigences fixées pour son utilisation en situation de conseil (exploration de conséquences possibles de différents scénarios et non pas simulation fine des processus).

Tableau 4. Comparaison des valeurs mesurées et simulées de quelques variables de sortie du modèle Cikèda

	n exploitations	Moyenne mesurée	Moyenne simulée	NRMSE (%)	r	
Production de grain (kg)						
coton	18	6 534	4 778	68	0.92	
maïs	25	12 897	10 384	80	0.85	
Production de paille (kg)						
maïs	18	10 788	10 488	44	0.93	
Apports minéraux (kg.ha ⁻¹)						
Coton	N	18	27	28	33	0.79
	P ₂ O ₅	18	25	25	9	0.96
	K ₂ O	18	15	15	9	0.95
Maïs	N	25	61	80	61	0.55
	P ₂ O ₅	25	25	35	48	0.85
	K ₂ O	25	15	48	253	0.35

NRMSE : Normalized Root Mean Square Error (source : ACL 22)

4.3. Validation par confrontation

La validation par confrontation vise à **évaluer la capacité du modèle à remplir les objectifs qui lui sont assignés** en analysant son apport en situation de conseil individuel, à savoir utilisé par un conseiller agricole en interaction avec un producteur s'interrogeant sur l'évolution de son exploitation. Elle est donc au cœur des objectifs que nous nous fixons, tout en étant la plus difficile à objectiver. Dans le cas de Cikèda, la procédure a été mise en œuvre avec 11 producteurs et 3 conseillers agricoles et a consisté à recueillir leurs réactions à partir de la démarche d'accompagnement en six étapes décrites précédemment.

Les problèmes soulevés touchent à (i) l'estimation au cas par cas des données d'entrée du modèle (un problème récurrent dans ces situations où les producteurs notent peu de choses par eux-mêmes), (ii) la conversion des unités de mesure des producteurs en unités de mesure du modèle, et (iii) la compréhension de certaines notions incluses dans le modèle, telles que les unités fourragères. Sans surprise, la démarche s'est avérée plus intéressante pour les producteurs jeunes en cours d'évolution de leurs systèmes de production, que pour des producteurs âgés en régime de croisière.

Les trois conseillers impliqués ont mobilisé la démarche de manière contrastée. L'un, très motivé par cette approche, s'est fortement impliqué en cherchant à bien comprendre la situation de chaque producteur, en posant spontanément des questions complémentaires afin d'obtenir des précisions et de pouvoir saisir des données correctes dans le modèle. Il a également fait preuve d'initiative, en suggérant des alternatives techniques ou organisationnelles aux propositions du producteur. Un deuxième conseiller a fait preuve d'un bon relationnel avec les producteurs, tout en se limitant au remplissage des données d'entrées, plutôt qu'à favoriser la discussion autour des problèmes rencontrés par le producteur, de ses marges de manœuvre et de ses perspectives d'évolution. Le troisième conseiller, mal à l'aise dans cette posture d'accompagnement, s'est limité à un rôle de traducteur. Tous trois reconnaissent l'intérêt de la démarche pour permettre au producteur de réfléchir sur la gestion de son exploitation et identifier des points à améliorer lors de la campagne à venir ou à plus long terme. Cependant la durée du processus de conseil représente une limite majeure, qui suppose de libérer des plages horaires, en conciliant leur emploi du temps souvent très chargé avec celui des producteurs.

Cette première expérience d'évaluation est actuellement élargie dans le cadre d'une thèse exposée en troisième partie.

Chapitre 4. Articulations avec les recherches biotechniques

Mes relations avec mes collègues relevant de la sphère biotechnique, dont les agronomes de la parcelle, ont évolué au gré des circonstances, des opportunités et des projets dans lesquels je me suis inséré. D'expérience, la demande fréquente de nos collègues « amont » envers nos travaux est de les éclairer sur les raisons de la non adoption, voire de l'adoption, des inventions techniques qu'ils ont mises au point. Ce questionnement renvoie très directement à une activité d'analyse des pratiques des producteurs et de leurs déterminants, telle qu'exposée au chapitre 2. Sans nier son intérêt, elle ne constitue pas à mes yeux un moteur suffisant pour un projet scientifique commun. Deux aspects me paraissent pouvoir enrichir ces relations : l'exploration de nouvelles questions biotechniques, d'une part, la question des références biotechniques à utiliser dans les modèles « exploitation agricole », d'autre part.

1. Exploration de nouvelles questions biotechniques

Le travail « en milieu paysan » présente pour l'agronome l'avantage de multiplier à moindre coût la diversité des situations culturelles observées. De cette diversité émergent des questions qu'une agronomie confinée aux stations expérimentales ne peut systématiquement explorer, voire même imaginer. Ces questions peuvent être le déclencheur de nouvelles activités de recherche, conduisant à la mise en place de collaborations combinant recherches en station et en milieu paysan

C'est ainsi que j'ai travaillé pendant ma thèse avec Michael Dingkuhn, à l'époque agro-physiologiste à l'Adrao (Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest) sur **les effets de la dynamique de drainage de rizières irriguées sur le rendement du riz** [ACL 1]. La question que je me posais avait trait à la dynamique de drainage des parcelles en lien avec les seuils de portance des moissonneuses-batteuses, et donc la règle de déclenchement de la récolte. Michael y voyait un intérêt pour analyser les effets d'un stress hydrique en deuxième partie de cycle sur le rendement en grain et la répartition des assimilats dans la plante. A cet effet nous avons mis en place une expérimentation en station mettant en comparaison des dates de drainage effectuées 0, 10, 20 et 30 jours après floraison. Chaque parcelle a fait l'objet d'un suivi incluant la dynamique de ressuyage du sol par prélèvement de carottes de sol sur les 20 premiers centimètres, les composantes du rendement et les mécanismes de transfert des assimilats.

Les résultats ont montré qu'on pouvait drainer les parcelles une dizaine de jours avant les pratiques usuelles des producteurs, sans perte de rendement. **Ce résultat allait à l'encontre des représentations des producteurs**, qui considéraient un drainage tardif comme bénéfique alors qu'il avait pour effet de favoriser l'égrenage des premières panicules produites. Au plan agro-physiologique, les résultats montraient l'existence de phénomènes de compensation par mobilisation des réserves stockées avant floraison, facteur de meilleure stabilité des rendements en fin de cycle. J'ai réitéré par la suite ce type de collaboration sur une question de salinisation des sols en relations avec les pratiques d'irrigation observées dans les périmètres brésiliens étudiés par Erwin de Nys lors de sa thèse [ACL 3].

2. Quelles références biotechniques pour les modèles « exploitations agricoles » ?

La caractérisation des références biotechniques utilisées dans les modèles « exploitation agricole » représente un aspect aujourd'hui central dans mes relations avec les disciplines « amont ». Dans le cas de Dalib, par exemple, les systèmes fourragers sont caractérisés par une culture, un itinéraire technique et un rendement associé, supposé valide pour des conditions de sol et climat données. Toute modification de l'une ou l'autre de ces variables a théoriquement des conséquences sur la valeur donnée au rendement, sans que des liens mécanistes n'existent au sein du modèle.

Ces connaissances doivent donc provenir d'experts dans le domaine biotechnique considéré. S'agissant de modélisation, il est intéressant **d'utiliser les sorties de modèles de culture** comme cela se pratique déjà (par ex. : Mérot et Bergez, 2010 ; Giller *et al.*, 2011). Mais ces modèles sont souvent limités à une partie du système de culture, ils demandent de nombreuses données pour les paramétrer et ont un domaine de validité ne couvrant pas toute la diversité du milieu réel, comme je l'ai constaté pour la canne à sucre. Ils sont donc peu utilisés dans des situations d'accompagnement

des producteurs, si on excepte Farmscape (Carberry *et al.*, 2002) ou une expérience conduite en Afrique du Sud sur la canne à sucre avec un outil simplifié, tiré d'un modèle agro-physiologique plus complexe (Singels, 2007). Dans les deux cas le modèle de culture est utilisable directement par les producteurs et conseillers *via* internet et des interfaces adaptées.

Dans la pratique, nous avons traité cette question des références agronomiques *via* une gamme de solutions, présentée dans une communication à Agro 2010 à partir des expériences conduites avec Magi, Dalib et Cikèda, auxquelles est venue s'ajouter l'outil MSEF (Multiscale Sustainability Evaluation Framework) utilisé par S. Lopez-Ridaura au Mali (. Trois problèmes ont été recensés, nécessitant des solutions adaptées au contexte d'utilisation des modèles (Tableau 5) :

(i) **Trouver les références biotechniques dans les systèmes d'information existants.** Les simulations réalisées en Afrique du Sud ont utilisé les données historiques de livraison collectées et archivées par l'usine. Dans les autres cas basés sur de petites exploitations familiales, il a été nécessaire de réaliser des enquêtes et des suivis sur des échantillons couvrant une large diversité de situations de sols, d'itinéraires techniques et de rendement. Mais ces données sont coûteuses à obtenir et dépendantes du climat des années d'observation. Elles sont à compléter par des connaissances expertes, par la littérature scientifique ou par des modèles de culture lorsque les innovations étudiées virtuellement ou les processus biophysiques (liés par exemple aux questions environnementales) ne sont pas connues du milieu étudié ;

(ii) **Rendre les connaissances empiriques compatibles avec le format des modèles.** Cette transformation se base sur trois processus : l'analyse statistique qui permet de passer de mesures individuelles à des estimations sur des entités agrégés (par exemple du lot de canne à une zone d'approvisionnement) ; l'approximation consistant à définir des situations culturelles combinant caractéristiques du milieu naturel, itinéraire technique et rendement, sans décrire précisément les liens entre les variables ; la simplification consistant à décrire certaines variables par quelques modalités, par exemple trois cas d'année pluviométrique, ou des pas de temps agrégés au mois ou à la saison de culture.

(iii) **Améliorer la nature des références utilisées,** en identifiant les variables d'entrée et les paramètres ayant un poids sur les valeurs des variables de sortie, ce qui passe par une analyse de sensibilité réalisée dans le cas de Cikèda [ACL 22].

Dans tous les cas le paramétrage du modèle d'exploitation, la construction de scénarios comportant des innovations ou inventions techniques et l'analyse des résultats ne peuvent que bénéficier d'une collaboration étroite entre agronomes de l'exploitation et chercheurs spécialistes des composantes biotechniques du système de production étudié.

Tableau 5. Relations entre problèmes, solutions et cas d'étude liés à l'utilisation de références agronomiques dans les outils d'aide à la décision

Problem to be solved	Solution adopted	Case-study concerned
Finding the agronomic data required for running decision support tools	. Historical series . Farm surveys . Local expert knowledge (known innovations) . Scientific literature (research inventions) . Crop model	. Magi . Dalib, Cikèda, MSEF . All cases . Potentially all cases . MSEF
Making agronomic references compatible with decision support tools and available data	. Statistical analysis . Approximation based on technical coefficient generator . Approximation based on empirical cropping combinations . Simplification	. Magi . MSEF . Dalib, Cikèda . All cases
Refining agronomic references	. Sensitivity analysis . Target oriented approach	. Cikèda . MSEF

(Source : Le Gal P.-Y., Andrieu N., Lopez-Ridaura S., 2010)

3^{ème} Partie : Projet de recherche

L'agriculture mondiale est confrontée à des enjeux dont l'importance va aller en grandissant avec la croissance démographique et les conséquences du changement climatique. Nourrir 9,5 milliards d'individus en 2050 va nécessiter une augmentation significative de la production agricole, qu'elle soit végétale ou animale (World Bank, 2007). Cette augmentation devra bénéficier à tous, notamment aux plus démunis, fournir des produits de bonne qualité sanitaire et gustative et respecter l'environnement naturel, alors que les ressources, tant en terre, eau et énergie, se font plus rares (Vance, 2001; Leng, 2008). Dans ce contexte potentiellement conflictuel, comme l'ont souligné les « émeutes de la faim » en 2008 et les tensions actuelles sur les marchés des matières premières agricoles, la recherche doit contribuer à la conception de systèmes agricoles innovants (Meynard et al., 2006), susceptibles d'atteindre ces objectifs de production tout en étant appropriables par des producteurs se distinguant par leurs contextes d'action, leurs objectifs et leurs pratiques.

L'agronomie se trouve en première ligne pour affronter ces défis (Doré *et al.*, 2006). Le projet scientifique que je me propose de conduire durant la dernière phase de ma carrière vise à poursuivre dans la voie d'interface empruntée jusqu'ici entre agronomie et autres disciplines, dans le but toujours plus actuel d'articuler savoir et action au service des acteurs agricoles. Centré sur le thème de **l'aide à la conception de systèmes de production innovants**, il se donne pour objectif de mieux prendre en compte les dimensions exploitation agricole et bassin d'approvisionnement agro-alimentaire dans les processus d'innovation des producteurs, en articulation avec, d'une part, les travaux et connaissances produits par les agronomes du système de culture, d'autre part, les questionnements et interventions conduits au sein de mon équipe de recherche²⁵ sur le thème du conseil aux producteurs.

1. Un cadre général d'organisation des recherches

L'expérience acquise à travers les différents travaux exposés dans la deuxième partie, et la diversité des contributions scientifiques à la conception de systèmes de production innovants observée lors de la revue de littérature (Encadré 1) m'ont conduit à proposer un cadre général de travail dont l'objectif serait de **mettre au point des démarches d'aide à la conception destinées aux producteurs et à leurs conseillers** [ACL 20]. Ce cadre cherche à intégrer les composantes biotechnique, gestionnaire et de conseil liées à de telles démarches. Il part de quatre postulats : (i) l'intérêt pour les producteurs de bénéficier des connaissances et inventions biotechniques de la recherche, et en retour pour les chercheurs d'identifier de nouvelles questions tirées des situations de gestion des producteurs ; (ii) l'intérêt pour les producteurs d'être accompagnés par des conseillers agricoles dans ce processus de conception, vu la complexité des interactions à prendre en compte au sein et en dehors de leurs systèmes de production ; (iii) la nécessité de concevoir des démarches adaptées aux situations de travail des conseillers, qui combinent des dimensions institutionnelles, financières et méthodologiques (Birner *et al.*, 2009); (iv) l'intérêt de faire interagir très en amont les différents acteurs impliqués (chercheurs de différentes disciplines, producteurs, conseillers) dans le cadre de plateformes partenariales [ACL 11].

En s'inspirant de la démarche de recherche-intervention et d'une approche similaire dénommée DEED pour *Describe, Explain, Explore, Design* (Giller *et al.*, 2008), nous proposons d'organiser ce processus en quatre étapes visant à **coupler les recherches au niveau exploitation agricole avec celles sur les dispositifs et démarches de conseil** (Figure 27). Ces quatre étapes s'articulent autour de la conception d'innovations concernant à la fois les systèmes de production à évaluer avec les producteurs, et de nouveaux outils et méthodes de conseil. Le processus proposé consiste à organiser la relation entre des situations expérimentales (quelques producteurs et conseillers en étapes 2 et 3) et des situations « en vraie grandeur » où les innovations testées vont être mises en

²⁵ L'équipe Spacto (Changements techniques et organisationnels dans les systèmes de production agricole), insérée dans l'Umr Innovation (<http://umr-innovation.cirad.fr/>), est composée d'une vingtaine de chercheurs relevant pour moitié de l'agronomie et pour l'autre des sciences sociales (économie, gestion, sociologie). Elle comprend trois axes scientifiques : Aide à la conception des systèmes agricoles innovants, Analyse et accompagnement des interactions entre niveaux d'organisation, Démarches de conseil pour les exploitations agricoles et les ménages ruraux.

œuvre (étape 4). L'objectif est d'éviter de produire des innovations inadaptées aux contextes d'action des acteurs, qu'elles soient techniques, organisationnelles ou méthodologiques, en prenant ces contextes en compte dès l'amont du processus de conception. La prise en compte de la diversité de ces contextes dans une zone donnée représente un défi majeur, qui s'ancre dans la relation entre contextualisation et formalisation caractérisant la recherche-intervention (Figure 3). Il s'agit concrètement de produire des démarches et outils génériques, adaptables à une large gamme d'exploitations, pertinentes par rapport aux questions que se posent les producteurs et utilisables par des conseillers agricoles. Les recherches biotechniques interviennent aux différents points du processus, en proposant des inventions potentiellement intéressantes et en traitant les déficits de connaissance identifiés dans les situations culturelles observées chez les producteurs.

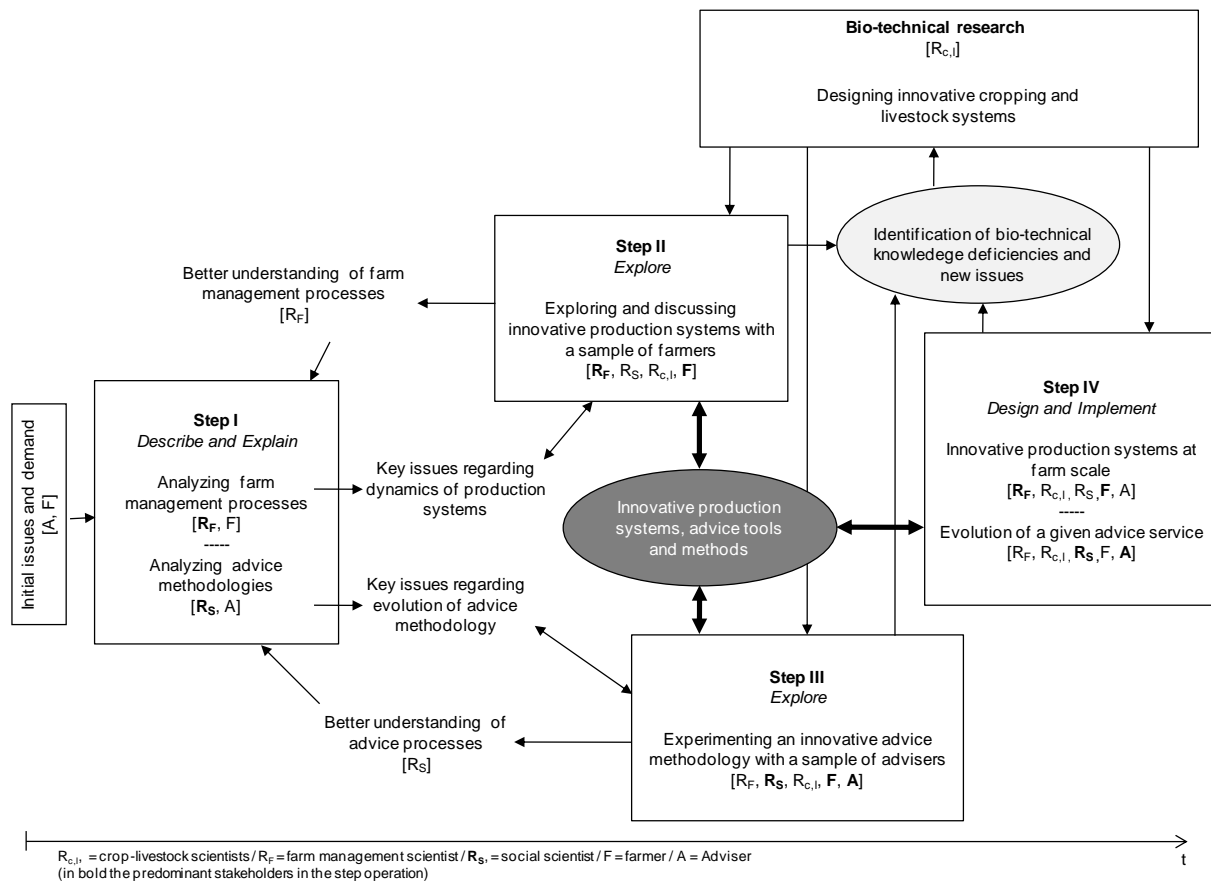


Figure 27. Organisation des interactions entre chercheurs, producteurs et conseillers agricoles pour améliorer la conception et la mise en œuvre de systèmes de production innovants à l'échelle de l'exploitation agricole

Les travaux concernant la conception de systèmes de production innovants, d'une part, de dispositifs de conseil, d'autre part, doivent se dérouler de manière synchrone pour prendre en compte, dans une même dynamique d'échange, les contextes d'action et les positions des différents acteurs. Le processus s'étale sur plusieurs années, particulièrement si l'on y intègre la quatrième étape qui suppose une mise en œuvre effective des innovations discutées (source : ACL 20).

2. Aide à la conception de systèmes de production agricole innovants

Ce thème central de mon projet de recherche s'inscrit dans la poursuite des travaux engagés ces dernières années sur les exploitations de polyculture-élevage, en l'enrichissant et en le diversifiant en termes de thématiques et de systèmes de production traités. Il fait de l'exploitation agricole l'objet d'intervention central, ce qui amène à considérer l'environnement de l'exploitation (économique, réglementaire, etc.) comme un élément de contexte source de contraintes et d'opportunités pour le producteur.

2.1. Modélisations à l'échelle de l'exploitation agricole

Dans un premier temps et sur la base des travaux réalisés à Madagascar en 2010, l'objectif visé est de fusionner les modèles existants appliqués aux exploitations de polyculture-élevage et laitières pour **déboucher sur une application unique** qui permettrait de traiter trois types de bilans à l'échelle de l'exploitation : vivrier, fertilité (N, P, K), alimentation animale. Cette dernière composante inclut la production de lait, de viande et d'énergie pour la traction animale. Une telle application permettrait de traiter de questions relevant du dimensionnement des ateliers végétaux et animaux, de la gestion de la fertilité en relation avec l'intégration agriculture-élevage et de l'adéquation entre système fourrager et productivité animale. Son utilisation la plus immédiate, dans le cadre du projet Pépites, consistera à évaluer l'intérêt de techniques d'agriculture de conservation pour à la fois améliorer le bilan fourrager et la fertilité des sols de l'exploitation.

Ce modèle pourra être complété par des sorties environnementales et un bilan offre-demande en travail, aujourd'hui manquant. Les objectifs sont de pouvoir évaluer les effets d'un scénario donné sur la gestion de la force de travail de l'exploitation, qui représente un facteur de production clé des exploitations familiales, et sur des variables environnementales telles que l'émission de gaz à effet de serre ou le stockage de carbone. L'aspect « travail » sera étudiée dès 2011 avec une première analyse sur les exploitations laitières au Brésil, basée sur la méthode BTA (Bilan Travail - Atelage) spécifique des exploitations d'élevage (Dedieu *et al.*, 2006 ; Malderieux *et al.*, 2009). Cette étude permettra d'évaluer l'intérêt et la façon d'intégrer cette dimension dans l'application actuelle et future. La dimension environnementale dépendra fortement des liens qui seront tissés au sein de projets transversaux avec les chercheurs de la sphère biophysique et technique.

J'envisage de **diversifier** par la suite **le type de système de production étudié** tout en conservant les objectifs et principes mobilisés sur les exploitations de polyculture-élevage. De nouveaux modèles seront alors développés en rapport avec les questions à traiter. Des réflexions sont par exemple en cours avec des collègues de l'Inra-PSH et du Cirad-HortSys travaillant sur les systèmes de production fruitiers à faible utilisation de pesticides, dans un continuum allant du gène à la filière. Dans ce cas la question à traiter au niveau exploitation agricole serait : comment concevoir et gérer de tels systèmes écologiquement intensifs en lien avec à la fois les questions de biodiversité et les demandes des opérateurs aval ? D'autres situations sont envisageables en fonction des opportunités de collaboration, par exemple sur les systèmes agro-forestiers (SAF) où la question à traiter serait : comment intégrer dans une problématique de conception et de gestion des systèmes de production la prise en compte d'horizons de long terme (investissements dans les plantations), les combinaisons de nombreuses espèces cultivées sur un même espace et les liens avec les filières agro-industrielles (projets à discuter avec les Ur Cirad spécialisées dans les cultures pérennes et l'Umr System, au sein du groupe SAF de mon équipe de recherche).

2.2. Expérimenter la démarche d'accompagnement des acteurs

L'utilité de ces modèles doit être testée au sein de démarches d'accompagnement, mises en œuvre avec de petits échantillons de producteurs pour bien cerner leur domaine de validité (étape 2 de la Figure 27). Il s'agit d'évaluer l'intérêt du modèle pour représenter les situations des producteurs, traiter des questions qui les préoccupent et les aider à réfléchir à de nouvelles configurations de leurs systèmes de production. Cette étape est fondamentale pour à la fois valider les cadres conceptuels élaborés par les chercheurs et les faire évoluer à l'épreuve de cas concrets, dans un processus tendant vers la **co-conception** non seulement des scénarios à simuler mais également **des outils de simulation** eux-mêmes.

Jusqu'ici l'évaluation de ce processus d'accompagnement est demeurée relativement peu formalisée, même s'il a pu faire l'objet d'analyses au sein d'articles décrivant les modèles développés [ACL 21] ou spécifiquement dédiés à la dimension d'accompagnement [ACL 13, ACL 23]. Je me propose d'approfondir ce point en réfléchissant à la **mise au point d'une méthode formalisée d'évaluation** de ces outils et de leur utilisation dans une perspective d'accompagnement, sujet qui fait l'objet de la thèse d'un étudiant burkinabé démarré en septembre 2010 (Encadré 2).

L'extension de l'utilisation de ces démarches et modèles à une plus large gamme de producteurs implique une prise en main par des conseillers agricoles dans le cadre de l'étape 3 de la Figure 27, exposée ci-après.

Encadré 2. Thèse démarrée en 2010 sur la modélisation des exploitations agricoles

Titre : Rôle de la modélisation dans l'aide à la conception de systèmes de production innovants : le cas des exploitations de polyculture-élevage en Afrique de l'Ouest

Contenu :

Aider les producteurs à concevoir des systèmes agricoles innovants s'avère nécessaire dans un contexte d'incertitude et de complexification de l'activité agricole. En zone Ouest Africaine, les producteurs sont confrontés de nos jours à des évolutions de leur environnement de production dues à la croissance démographique, à la variation du climat et des prix des intrants et des produits sur le marché mondial. Ces évolutions nécessitent un changement de leurs pratiques et de leurs stratégies de production. La recherche a proposé différents outils pour aider les exploitants à concevoir des systèmes agricoles innovants, parmi lesquels des outils de modélisation à l'échelle de l'exploitation. Mais on constate une faible appropriation des modèles par les acteurs non chercheurs du fait de leur faible implication dans la conception de ces outils, du coût et de la durée d'acquisition des données de base pour faire fonctionner les modèles, de leur complexité ou de leur durée de développement. Cette thèse en agronomie de l'exploitation agricole vise à approfondir le lien entre conception et usages des modèles pour l'aide à la décision et à la réflexion stratégique des producteurs, appliqué au cas des exploitations de polyculture-élevage en Afrique de l'Ouest.

Dans le cadre du projet « Rôle de la modélisation pour la gestion durable des systèmes coton-céréales-élevage en Afrique de l'Ouest » trois modèles à l'échelle de l'exploitation ont été élaborés en vue d'aider les producteurs à concevoir des systèmes innovants : Cikeda un modèle simulant l'offre et la demande de ressources sur un pas de temps annuel, Simflex un modèle à base de règles simulant les stratégies d'adaptation du producteur en fonction de séries pluriannuelles de données pluviométriques et économiques, OptimCikeda un modèle optimisant sous contraintes l'allocation des ressources productives de l'exploitation afin de maximiser le revenu. Basée sur des cas concrets d'exploitation la thèse va analyser les intérêts, limites et complémentarités entre ces trois approches pour évaluer différents scénarios d'évolution agropastorale et concevoir des systèmes innovants. Elle va se dérouler en zone cotonnière du Burkina Faso et va concerner 18 exploitations agropastorales.

Mise en œuvre : cette thèse a démarré en septembre 2010 avec un étudiant burkinabé, Aristide Semporé, inscrit à l'Université de Bobo-Bioulasso et un financement du Cirad. Le directeur de thèse est M. Sanogo, et j'en assure le co-encadrement avec ma collègue Nadine Andrieu.

2.3. Articuler démarche expérimentale d'accompagnement des acteurs et dispositifs de conseil

L'ambition est **d'évaluer l'utilité de ces démarches et outils pour et avec des conseillers agricoles**, afin d'éviter une approche linéaire et diffusionniste des innovations en matière de démarches et outils de conseil. Passer à l'échelle d'un dispositif de conseil soulève un certain nombre de questions que je souhaite étudier en collaboration étroite avec mes collègues traitant de la problématique du conseil en agriculture :

- Quels sont les besoins des conseillers en matière de conseil tactique et stratégique aux exploitations agricoles ? En quoi les outils et démarches proposés sont-ils adaptés à leurs besoins et conditions de travail et comment les faire évoluer ?
- Comment mettre en place un dispositif de co-conception avec les conseillers agricoles ?
- Comment faire évoluer l'ergonomie des outils initialement développés sur une plateforme simple comme un tableur ?

Cette dernière question n'est pas triviale pour une équipe comme la notre, dépourvue de compétences en informatique. Mon expérience avec le logiciel Magi[®], que nous avons fait passer d'une application Excel à un outil combinant une base de données et un langage de programmation pour gérer les interfaces et les calculs, a montré les difficultés, mais aussi les apports conceptuels, d'un tel changement de format.

Traiter ces questions suppose de conduire sur un même terrain les différentes étapes de la Figure 27, afin de s'assurer des allers-retours entre étapes qui permettront de faire évoluer à la fois la démarche et son contenu, en tenant compte des points de vue des producteurs, des conseillers et du dispositif dans lequel ils s'insèrent. Cette configuration devrait se mettre en place sur le terrain burkinabé, avec le recrutement et l'affectation d'un chercheur sur un profil de poste intitulé «Aide à la conception de

dispositifs d'accompagnement des acteurs ruraux pour l'innovation en agriculture». Ma collaboration avec ce futur collègue se fera à partir de l'insertion de la modélisation dans ces dispositifs, fondée sur les outils déjà testés dans la zone et sur leur évolution.

3. Quelles références biotechniques pour quels outils d'aide à la conception ?

La question des références biotechniques nécessaires au paramétrage des modèles « exploitation » (itinéraires techniques et rendements en quantité et qualité en lien avec les états du milieu, effets sur les variables environnementales), demeure centrale, *a fortiori* lorsqu'il s'agit d'intégrer dans la réflexion leurs conditions d'utilisation par des acteurs non chercheurs. Cette réflexion aura des incidences sur la conception même de ces modèles et dans la façon d'organiser la gestion des références nécessaires à leur utilisation. On peut par exemple imaginer **créer des bibliothèques locales de situations culturelles**, regroupant les connaissances concernant les relations entre conditions naturelles, itinéraires techniques et rendements, un sujet dont l'expérience montre qu'il intéresse les producteurs qui ont, en la matière, de nombreuses connaissances empiriques. Ces connaissances sont à valider et à élargir à des variables non prises en compte jusqu'ici (environnementales par exemple) dans un débat avec les techniciens et chercheurs.

Une autre direction à explorer consiste à **utiliser**, lorsqu'ils sont disponibles, **les modèles de culture** pour générer des références agronomiques sur une large gamme de conditions naturelles (climatiques notamment), tout en limitant les risques d'erreurs pouvant, par propagation, entacher le réalisme des sorties des modèles « exploitation agricole ». Ce couplage existe déjà pour des modèles d'optimisation appliqués à des exploitations-type [ACL 20]. Il s'agirait ici de le tester sur des exploitations réelles et dans une démarche d'accompagnement visant à évaluer *ex-ante* des innovations inconnues des producteurs et pour lesquelles ils ne possèdent pas de références.

La confrontation de ces modèles de culture à la réalité des exploitations agricoles devrait alimenter une réflexion sur leur conception/adaptation dans une perspective non plus seulement de compréhension et représentation des processus agronomiques mais également d'utilisation en situation de conseil, étendue aux questionnements tactiques et stratégiques des producteurs. Cette action est envisageable sur des terrains où des modèles de culture ont été validés, tel qu'APSIM (Keating *et al.*, 2003) au Mali (thèse de F. Sissoko, 2009) qui pourrait être utilisé au Burkina-Faso.

4. Intégrer les échelles exploitation agricole et bassin d'approvisionnement

Poursuivre dans la voie ouverte par mes travaux sur les bassins d'approvisionnement sucrier et laitier me paraît important compte-tenu de l'intégration croissante des exploitations agricoles dans les marchés locaux comme internationaux. L'approche que je me propose de développer sur ce thème comprend deux composantes dont la mise en œuvre concrète dépendra du type de production et de chaîne d'approvisionnement auquel on s'adresse. L'analyse des différents travaux conduits jusqu'ici montre en effet que les pratiques gestionnaires à l'œuvre comme la possibilité de développer des interventions sur leur évolution dépendent de la nature des produits sur lesquels portent les transactions, de l'organisation mise en place sur la chaîne d'approvisionnement (atomisation et diversité des producteurs, existence ou non d'opérateurs intermédiaires entre les producteurs et les transformateurs, existence de structures interprofessionnelles), et de la dynamique des marchés, tant en termes de quantités, qualités et prix.

4.1. Impacts de l'environnement des exploitations agricoles sur les décisions des producteurs

Cette composante analytique peut être mise en œuvre dès que des exploitations agricoles sont en relation avec des opérateurs aval pour une ou plusieurs productions. Les questions à traiter portent sur **la façon dont les décisions des producteurs sont affectées par les demandes de ces opérateurs**, en termes de quantité, qualité, délais et prix d'achat de la matière première agricole. Les décisions concernées relèvent de la conduite des cultures, liées ou non à un cahier des charges, de l'organisation des récoltes, des choix d'assolements en lien avec les orientations stratégiques des exploitations.

Ces questions ne sont pas en soi originales. Mais elles supposent de **s'intéresser** plus précisément **aux outils de coordination** mis en place par les opérateurs aval pour atteindre leurs objectifs. Certains, comme les systèmes de paiement, relèvent plus de l'économie, d'autres sont à l'interface entre l'agronomie et les sciences de gestion (organisation logistique), d'autres relèvent de mon point de vue de l'agronomie : cahiers des charges techniques, outil de prévision des récoltes et de planification des livraisons en fonction des quantités disponibles, de la dynamique de la qualité et de la distribution spatiale de la production dans le bassin d'approvisionnement.

Articuler cette analyse des outils de coordination à l'échelle du bassin d'approvisionnement avec celle de leurs impacts sur les décisions des producteurs constitue un thème de recherche que je souhaite appliquer aux situations de production mentionnées plus haut. Cela doit permettre d'évaluer les marges de manœuvre dont disposent les producteurs pour faire évoluer leurs systèmes de production, que ce soit dans leurs capacités à s'adapter aux demandes des opérateurs aval ou pour profiter de nouvelles opportunités.

4.2. Aider à la conception de nouvelles formes de coordination au sein des bassins d'approvisionnement

Dans certains cas, comme celui de la canne à sucre, cette connaissance de l'interface producteurs - opérateurs aval fait ressortir des marges de manœuvre au sein même de l'organisation de l'approvisionnement en matière première. Il est alors possible de **contribuer à la conception de nouvelles formes de coordination entre les acteurs**, qu'elles soient liées à la recherche d'une plus grande efficacité ou à l'apparition de nouveaux débouchés (utilisation énergétique de la canne par exemple). La contribution des agronomes à ce type de travaux doit se concevoir en relation avec des chercheurs en économie et gestion, dans la mesure où les outils de coordination comme leurs possibilités d'évolution peuvent être étroitement imbriqués. Cette contribution se situera à plusieurs niveaux : intégration de la connaissance sur la diversité des exploitations agricoles et de leurs processus de fonctionnement dans le raisonnement tenu à l'échelle du bassin d'approvisionnement, aide à la conception de cahiers des charges ou conception d'outils d'aide à la planification des approvisionnements comme Magi[®], conception d'outils d'incitation à la qualité basés sur des critères techniques comme proposé dans le sujet de thèse sélectionné par le programme doctoral européen AgTrain (Encadré 3).

Conduire à bien de tels travaux est fortement dépendant des situations de terrain. Il s'agit en effet de combiner (i) une demande d'acteurs industriels et/ou agricoles, (ii) la mise en place d'un dispositif partenarial opérationnel dans la durée, représentant la diversité des acteurs impliqués dans le fonctionnement du bassin, et (iii) l'existence de marges de manœuvre permettant de résoudre les problèmes posés. Ce sont donc des opérations à conduire sur des terrains où l'on dispose de partenariats locaux solides, tant du côté recherche que développement.

Encadré 3. Thèse financée sur la gestion de la qualité dans un bassin de collecte laitier au Pérou

Title: **Analysis of milk quality management by small-scale dairy farmers and dairy processors in an Andean valley - Case study: Mantaro – Peru**

Content:

Dairy production provides a significant and regular income to small-scale dairy farmers in many regions worldwide. In many cases these numerous dairy farms deliver their milk to small- to large-scale dairies for processing and marketing of dairy products. Cooperatives sometimes are established to play an intermediary collection role between the farmers and the dairy. Interactions between farmers and dairies cover three main components: logistics of milk supply, milk payment system and information management. The efficiency of the relationship, both for farmers and processors, depends on the coordination tools implemented to manage these interactions. This problematic applies to a dairy production basin studied in the Mantaro Valley in Peru where various kinds of processors are implemented: a multinational company, some medium-scale industrial dairy plants and many small-scale cheese processors (Cortijo et al., 2010). These processors are indifferently supplied by a large number of small- and medium scale dairy irrigated farms. Some local development agencies support the dairy chains stakeholders in improving their technical and economic performances.

The four main objectives of the present research project are: (i) to analyze the farmers' practices regarding milk quality management and their actual effects on the milk quality up to the dairy processors; (ii) to identify the major bottlenecks for the improvement of quality in small-scale milk production; (iii) to develop a methodology to support dairies and farmers in improving these practices and milk quality; (iv) to test the potential of participatory extension work and production competitiveness of rural poor people in terms of quality milk production, leading them to new ways of managing problems and change in rural areas through improving their planning capacities.

Nota-bene: ce projet (ici dans sa version très résumée) a été retenu par le programme doctoral européen AgTrain (www.agtrain.eu/) pour être conduit par un étudiant péruvien qui sera inscrit en septembre 2011 à l'école doctorale Sibaghe (SupAgro), avec co-tutelle de l'Université de Cork et en partenariat avec l'Université de La Molina à Lima.

5. Participer à des projets pluri-échelles et transdisciplinaires

Ce projet de recherche fait largement référence aux liens à tisser avec les autres disciplines « encadrant » l'agronomie des exploitations agricoles et des territoires. Cette position fait écho à la tendance actuelle des agences de moyen consistant à financer des projets de recherche combinant plusieurs échelles, thèmes et disciplines, depuis les sciences biophysique jusqu'aux sciences humaines. Mettre de la « socio-économie » dans un projet initialement conçu par des chercheurs biotechniques devient notamment une condition *sine qua non* pour répondre à certains appels d'offre. Il est également demandé de produire des résultats utiles pour les acteurs autres que chercheurs, en sus des articles scientifiques.

Le projet de recherche que je me propose de mettre en œuvre me paraît répondre à ces nécessités. Il bénéficie du fait que **l'agronomie de l'exploitation agricole et des territoires se situe de facto à l'interface entre les sciences biotechniques et les sciences humaines** (Figure 28). Mais il dépasse la seule analyse des raisons pour lesquelles les producteurs adoptent ou non les inventions techniques conçues par nos collègues biotechniques, en proposant, d'une part, d'élargir le cadre d'analyse à des échelles différentes de celles auxquelles ces inventions ont été produites, d'autre part, de mobiliser une démarche d'aide à la conception permettant l'évaluation *ex-ante* des inventions et innovations proposées dans le cadre d'exploitations agricoles et de bassins d'approvisionnement réels.

Les connaissances produites concernent à la fois la compréhension des comportements techniques des producteurs et des interactions entre producteurs et opérateurs aval, l'analyse des relations entre ces comportements et les performances des systèmes de production aux échelles individuelles et collectives, et leur modélisation dans un objectif d'aide à l'action. Elles sont à la fois situées puisque construites sur des terrains et échantillons spécifiques, et génériques à travers la comparaison entre différents terrains et la conception de modèles. Elles occupent le maillon entre des recherches biotechniques centrées sur la conception de systèmes techniques innovants à la parcelle / troupeau, et des recherches sur les politiques publiques et la dynamique des institutions et organisations collectives.

De ce fait et bien que viable en soi, un tel projet prendra tout son sens s'il parvient à s'articuler, d'une part, avec les disciplines des sciences sociales et humaines qui lui paraissent les plus proches (économie et gestion déjà mobilisés dans mes activités passées, géographie à développer au sein de l'Umr Innovation pour les aspects territoriaux), d'autre part, avec l'agronomie de la parcelle et les disciplines biotechniques amont. Les relations doivent être croisées et à bénéfice mutuel comme le souligne le cadre exposé en Figure 28.

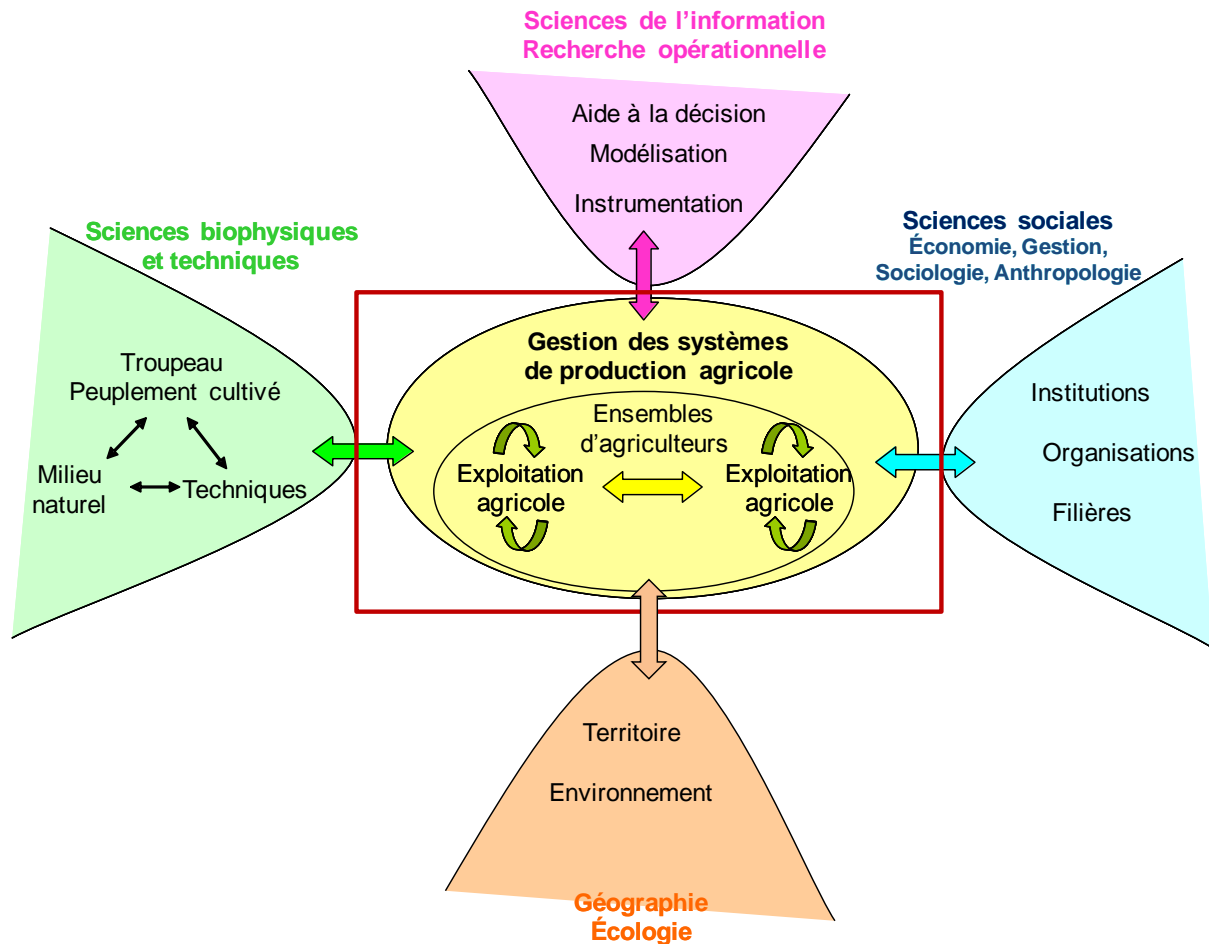


Figure 28. Positionnement disciplinaire des recherches sur la gestion des systèmes de production agricole
Le cadre rouge délimite le cœur de mon projet de recherche.

Conclusions

Tant mon parcours que le projet que je me propose de conduire dans les années à venir sont centrés sur **les relations qu'entretiennent les producteurs agricoles avec les interventions techniques** à différentes échelles, individuelles (exploitation agricole) comme collectives (bassin d'approvisionnement agro-alimentaire, périmètre irrigué). Si ces relations relèvent bien de la discipline agronomique telle qu'elle s'est construite en France depuis 40 ans, la prise en compte de ces objets qui ne connaissent pas les frontières disciplinaires m'a rapidement amené à élargir mon champ d'investigation et d'intervention. Mes travaux sur l'analyse de la gestion des flux physiques de ressources (matière première agricole, eau d'irrigation) et leur modélisation aux échelles d'organisation collective, sont le fruit de cette évolution.

Celle-ci s'est également traduite par **un positionnement à l'interface** entre disciplines biotechniques (agronomie parcelle, hydraulique, zootechnie), et sciences sociales (économie, sciences de gestion). De ce dialogue j'ai acquis une meilleure conscience de mes frontières disciplinaires, mais également de la nécessité d'organiser la pluridisciplinarité au sein de projets *ad hoc*. La modélisation me paraît sur ce plan un outil structurant dans la mesure où elle amène à formaliser l'offre et la demande de connaissances entre les disciplines.

La modélisation s'est révélé également un outil puissant pour répondre à l'objectif d'aide à l'action que j'estime consubstantiel à l'agronomie. Je l'ai mis en œuvre dans le champ de la planification et des décisions stratégiques qui sont moins souvent perçues par les acteurs agricoles comme un domaine où la recherche et le conseil peuvent leur être utile. J'y rajoute aujourd'hui ce souci de déboucher sur des démarches appropriables par les conseillers agricoles dans leur environnement de travail. Ce positionnement est un pari que la collaboration avec mes collègues spécialistes de ce thème et les travaux à venir permettront, je l'espère, de réussir.

Ce champ d'activités scientifiques produit **des connaissances originales sur les comportements techniques des producteurs** et leurs relations avec leur environnement. Ces connaissances ne sont pas prises en charge par d'autres disciplines et m'apparaissent indispensables à une bonne compréhension des dynamiques en cours dans le monde agricole (posture analytique) et à la contribution de la Recherche à leurs évolutions (posture d'accompagnement). Ce positionnement me semble également original à l'international, si je me réfère à l'état de l'art que nous avons réalisé [ACL 20] et aux travaux présentés dans de récentes conférences (ISDA 2010²⁶, Agro2010²⁷, Farming System Design 2007²⁸).

Je terminerai par le souhait (et le souci) de pouvoir transmettre ces connaissances, méthodes et démarches aux futures générations d'étudiants et de chercheurs. Ma motivation à soutenir cette Hdr tient essentiellement à cet objectif. Les compétences à l'échelle de l'exploitation agricole se sont érodées avec le temps dans nos institutions, alors que ce maillon est fondamental pour l'avenir de l'agriculture et de l'alimentation mondiale, particulièrement sous sa forme familiale. Outre l'encadrement de doctorants, j'aimerais participer à l'avenir au montage de formations dédiées à l'analyse, la modélisation et l'aide à la conception des systèmes de production agricole, associant dans un même ensemble les disciplines jugées nécessaires à ce projet.

*
* *

²⁶ International & Sustainable Development in Agriculture and Food, Montpellier, June 28–July 1, 2010

²⁷ Agro2010, XIth ESA Congress, Montpellier, August 29 –September 3, 2010

²⁸ Farming System Design 2007, Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems. Catania, September 10-12, 2007

Références

- Aarts, H.F.M., Habekotte, B., van Keulen, H., 2000. Nitrogen (N) management in the 'De Marke' dairy farming system. *Nutr Cycl Agroecosys* 56, 231-240.
- Agbonlahor, A.U., Aromolaran, A.B., Aiboni, V.I., 2003. Sustainable soil management practices in small farms of southern Nigeria: A poultry-food crop integrated farming approach, *J Sustain Agr* 22, 51-62.
- Attonaty, J.M., Chatelin, M.H., Mousset, J., 1993. A Decision Support System based on farmer's knowledge to assist him in decision making about work organization and long term evolution. International Seminar of CIGR Models Computer Programs and Expert Systems for Agricultural Mechanization. Florenza, Italy, 1-2/10, 8-22.
- Attonaty, J.-M., Chatelin, M.-H., Garcia F., 1999. Interactive simulation modeling in farm decision-making. *Comput Electron Agr* 22, 157-170.
- Aubry, C., Papy, F., Capillon, A., 1998. Modelling decision-making processes for annual crop management. *Agr Syst* 56, 45-65
- Aubry, C., Paillat, J.M., Guerrin, F., 2006. A conceptual model of animal wastes management in the Reunion Island. *Agr Syst* 88, 294-315.
- Bachelard, G., 1977. *La formation de l'esprit scientifique*. Paris, France, Vrin.
- Barioni, L. G., Dake, C. K. G., Parker, W. J., 1999. Optimizing rotational grazing in sheep management systems. *Environ Int* 25, 819-825.
- Barnes, A.J., Meyer, E., Hansen, A.C., De La Harpe, E.R., Lyne, P.W.L., 1998. Simulation modelling of sugarcane harvesting and transport delays. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 72, 18-23.
- Beamon, B., 1998. Supply chain design and analysis: models and methods. *Int J Prod Econ* 55, 281-294.
- Benoit, M., Deffontaines, J-P, Lardon, S., 2006. *Acteurs et territoires locaux. Vers une géoagronomie de l'aménagement*. Coll. Savoir faire, Inra, Paris. 174 p.
- Birner, R., Davis, K., Pender, J., Nkonya, E., Anandajayasekeram, P., Ekboir, J., Mbabu, A., Spielman, D., Horna, D., Benin, S., Cohen, M., 2009. From best practice to best fit. A framework for analyzing pluralistic agricultural advisory services worldwide. *J Agr Extension Educ* 15, 341-355.
- Blazy, J.-M., Ozier-Lafontaine, H., Doré, T., Thomas, A., Wery, J., 2009. A methodological framework that accounts for farm diversity in the prototyping of crop management systems. Application to banana-based systems in Guadeloupe. *Agr Syst* 101, 30-41.
- Bonnal, P., Zoby, J.L.F., Dos Santos, N.A., 1994. Définition et discussion d'un dispositif de recherche-développement : cas du projet Silvânia dans les Cerrados (Brésil). *Cah Rech Dév* 39, 29-42.
- Bouche, R., Attonaty, J.-M., 1999. First experiences with a negotiation decision support system contributing to milk price elaboration in Corsica. *Comput Electron Agr* 22, 141-155.
- Boujut, J.-F., Llerean, D., Brissaud, D. (eds), 2007. *Les systèmes de production. Applications disciplinaires et mutations*. Paris, Lavoisier, 309 p.
- Bousquet., F., Castella, J.-C., Trebuil, G., Barnaud, C., Boissau, S., Kam, S.P., 2007. Using multi-agent systems in a companion modelling approach for agro-ecosystem management in South-east Asia. *Outlook Agr* 36, 57-62.
- Brossier, J., 1987. Système et système de production. Note sur ces concepts. *Cah Sci Hum* 2 , 377-390.
- Brossier, J., Chia, E., Marshall, E, Petit, M., 1997. *Gestion de l'exploitation agricole familiale. Eléments théoriques et méthodologiques*, Dijon, Enesad-Cnerta, 215 p.
- Cabrera, V. E., Breuer, N. E., Hildebrand, P. E., Letson, D., 2005. The dynamic North Florida dairy farm model: A user-friendly computerized tool for increasing profits while minimizing N leaching under varying climatic conditions. *Comput Electron Agr* 49, 286-308.
- Capillon, A., 1985. Connaitre la diversité des exploitations : un préalable à la recherche de références techniques régionales. *Agriscopes* 6, 31-40.
- Capillon, A., 1988. Jugement des pratiques et fonctionnement des exploitations. In M. Jollivet ed., *Pour une agriculture diversifiée : arguments, questions, recherches*, Paris, France, L'Harmattan, pp. 124-133.
- Capillon, A., 1993. *Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques*. Thèse Dr. INA-PG, Paris, France, Tome 1.

- Capillon A., Manichon H., 1979. Une typologie des trajectoires d'évolution des exploitations agricoles. *CR Acad Agric Fr* 65, 1168-1178.
- Capillon, A., Caneill, J., 1987. Du champ cultivé aux unités de production : un itinéraire obligé pour l'agronome. *Cah ORSTOM, Sér Sci hum* 23, 409-420.
- Carberry, P.S., Hochman, Z., McCown, R.L., Dalgliesh, N.P., Foale, M.A., Poulton, P.L., Hargreaves, J.N.G., Hargreaves, D.M.G., Cawthray, S., Hillcoat, N., Robertson, M.J., 2002. The FARMSCAPE approach to decision support: farmers', advisers', researchers' monitoring, simulation, communication and performance evaluation. *Agr Syst* 74, 141-177.
- Cardoso, I.M., Guijt, I., Franco, F.S., Carvalho, A.F., Neto, P.S.F., 2001. Continual learning for agroforestry system design: university, NGO and farmer partnership in Minas Gerais, Brazil. *Agr Syst* 69, 235-257.
- Chambers, R., Pacey, A., Thrupp, L.A., 1989. *Farmer First. Farmer innovation and Agricultural Research*. Londres, Intermediate Technology Publications, 218 p.
- Chatelin, M.H., Mousset, J., Papy, F., 1994. Taking account of Decision-Making behaviour in giving advice. A real life experiment in Picardie. In Jacobsen, B.H., Pedersen, D.E., Christensen, J., Rasmussen, S. (Eds), *Farmer's decision making , a descriptive approach*, Proceedings of the 38th EAAE Seminar, pp. 369-381.
- Chatelin, M.H., Mousset, J., Rieu, C., 1996. La simulation de l'organisation du travail comme instrument d'aide à la recherche de solutions nouvelles. In Aide à la décision et choix de stratégies dans les entreprises agricoles, Inra - Le Biopôle, 71-83.
- Chatelin, M.-H., Aubry, C., Poussin, J.-C., Meynard, J.-M., Massé, J., Verjux, N., Gate, Ph., Le Bris, X., 2005. DéciBlé, a software package for wheat crop management simulation. *Agr Syst* 83, 77-99.
- Chen, I.J., Paulraj, A., 2004. Towards a theory of supply chain management: the construct and measurements. *J Oper Manag* 22, 119-150.
- Chia, E., 2004. Principes, méthodes de la recherche en partenariat : une proposition pour la traction animale. *Revue Elev Méd Vét Pays Trop* 57, 233-240.
- Collinson, M.P. (Ed), 2000. *A History of Farming System Research*. Fao and CABI Publishing ; Wallingford.
- Coquillard, P., Hill, D.R.C., 1997. *Modélisation et simulation d'écosystèmes, des modèles déterministes aux simulations à évènements discrets*. Masson, Paris, France.
- Courbon, J.-C., 1982. Processus de décision et aide à la décision. *Economie et Sociétés. Série Sciences de Gestion* 3, Tome XVI, 12, 1466-1476.
- Croom, S., Romano, P., Giannakis, M., 2000. Supply chain management: an analytical framework for critical review. *Eur J Purch & Supply Manag* 6, 67-83.
- Cros, M.J., Duru, M., Garcia, F., Martin-Clouaire, R., 2004. Simulating management strategies: the rotational grazing example. *Agr Syst* 80, 23-42.
- Crozier, M., Friedberg, E., 1977. *L'acteur et le système*. Paris, France, Le Seuil.
- David, A., 2000. La recherche-intervention, cadre général pour la recherche en management ? In David A., Hatchuel A., Laufer R. eds. *Les nouvelles fondations des sciences de gestion*. Paris, Vuibert-Fnege, 193-213.
- David, A., Pallez, F., 2001. Les systèmes d'information à l'épreuve des organisations. In C. Cauvet, C. Rosenthal-Sabroux (eds) *Ingénierie des systèmes d'information*, Hermès, Paris, 23-60.
- Dedieu, B., Servièrre, G., Madelrieux, S., Dobremez, L., Cournot, S., 2006. Comment appréhender conjointement les changements techniques et les changements du travail en élevage? *Cah Agric* 15, 506-513.
- de Geus, A.P., 1992. Modelling to predict or to learn? *Eur J Oper Res* 59, 1-5.
- Dobos, R.C., Ashwood, A.M., Moore, K., Youman, M., 2004. A decision tool to help in feed planning on dairy farms. *Environ Modell Softw* 19, 967-974.
- Dogliotti, S., Rossing, W.A.H., van Ittersum, M.K., 2004. Systematic design and evaluation of crop rotations enhancing soil conservation, soil fertility and farm income: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agr Syst* 80, 277-302.
- Dogliotti, S., van Ittersum, M.K., Rossing, W.A.H., 2005. A method for exploring sustainable development options at farm scale: a case study for vegetable farms in South Uruguay. *Agr Syst* 86, 29-51.
- Dogliotti, S., Abedala, C., Monvoisin, K., Groot, J., 2010. A model-aid procedure to design and evaluate cropping plans to improve sustainability of farm systems. In *Agro 2010*, the XI ESA Congress, Montpellier, August 29th-September 3rd 2010, pp. 839-840.

- Donnelly, J. R., Freer, M., Salmon, L., Moore, A. D., Simpson, R. J., Dove, H., Bolger, T. P., 2002. Evolution of the GRAZPLAN decision support tools and adoption by the grazing industry in temperate Australia. *Agr Syst* 74, 115-139.
- Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, J. (Coord.), 2006. *L'agronomie aujourd'hui*. Editions Quæ, Paris, France.
- 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. *Agr Syst* 73, 233-260.
- Dowle, K., Doyle, C. J., Spedding, A. W., Pollott, G. E., 1988. A model for evaluating grassland management decisions on beef and sheep farms in the UK. *Agr Syst* 28, 299-317.
- Dugué, P., Koné, F.R., Koné, G., Akindès, F., 2004. Production agricole et élevage dans le centre du bassin cotonnier de Côte d'Ivoire : développement économique, gestion des ressources naturelles et conflits entre acteurs. *Cah Agr* 13, 504-509.
- Duru, M., 1987. Diagnostic et aide à la décision chez l'agriculteur : du champ cultivé au système de production. *Cah Rech Dev* 16, 14-21.
- Eliashberg, J., Steinberg R., 1987, Marketing-production decisions in an industrial channel of distribution. *Manage Sci* 33, 981-1000.
- Emiliani, M.L., 2003. The inevitability of conflict between buyers and sellers. *Supply Chain Manag* 8, 107-15.
- Fauconnier, R., 1991. *La canne à sucre*. Paris, Maisonneuve et Larose.
- Faure, G., Kleene, P. 2004. Lessons from new experiences in extension in West Africa: management advice for family farms and farmers' governance. *J Agr Extension Educ* 10, 37-49.
- Faure, G., Gassel, P., Triomphe, B., Temple, L., Hocdé, H. (éds.), 2009. *Innover avec les acteurs du monde rural : la recherche-action en partenariat*. Editions Quæ, CTA, Presses Agronomiques de Gembloux.
- Fila, G., Bellocchi G., Acutis M., Donatelli M., 2003. IRENE: a software to evaluate model performance. *Eur J Agron* 18, 369-372.
- Gaucher, S., 1996. *Analyse et modélisation de l'approvisionnement des sucreries de La Réunion. Phase préliminaire*. Mémoire d'études d'ingénieur, INA-PG, 51 p. + annexes.
- Gaucher, S., 2002. *Organisation de filières et politiques d'approvisionnement. Analyse appliquée au cas des filières agro-alimentaires*. Thèse en ingénierie et gestion. Paris, École des mines de Paris.
- Giard, V., 1988. *Gestion de la production*. Paris, Economica.
- Giles, R., Bezuidhout, C.N., Lyne, P.W.L., 2005. A simulation study on cane transport improvements in the Sezela mill area. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 79, 402-408.
- Giller, K. E., Leeuwis, C., Andersson, J. A., Andriess, W., Brouwer, A., Frost, P., Hebinck, P., Heitkönig, I., van Ittersum, M. K., Koning, N., Ruben, R., Slingerland, M., Udo, H., Veldkamp, T., van de Vijver, C., van Wijk, M. T., Windmeijer, P., 2008. Competing claims on natural resources: what role for science?. *Ecol Soc* 13, 34. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art34/>
- Giller, K.E., Tittonell, P., Rufino, M.C., van Wijk, M.T., Zingore, S., Mapfumo, P., Adjei-Nsiah, S., Herrero, M., Chikowo, R., Corbeels, M., Rowe, E.C., Baijukya, F., Mwijage, A., Smith, J., Yeboah, E., van der Burg, W.J., Sanogo, O.M., Misiko, M., de Ridder, N., Karanja, S., Kaizzi, C., K'ungu, J., Mwale, M., Nwaga, D., Pacini, C., Vanlauwe, B., 2011. Communicating complexity: Integrated assessment of trade-offs concerning soil fertility management within African farming systems to support innovation and development. *Agr Syst* 104, 191-203.
- Hamel, G., Doz, Y.L., Prahalad, C.K., 2002. Collaborate with your competitors - and win. In *Harvard business review on strategic alliances*. Harvard Business School Publishing Corporation, Boston, 1-21.
- Hatchuel, A., 1994. Apprentissages individuels et activités de conception. *Revue Française de Gestion* 1994, 109-20.
- Hatchuel, A., 2000. Quel horizon pour les sciences de gestion ? Vers une théorie de l'action collective. In David A., Hatchuel A., Laufer R. eds. *Les nouvelles fondations des sciences de gestion*. Paris : Vuibert-Fnege, 7-43.
- Hémidy, L., Maxime, F., Soler, L.-G., 1993. Instrumentation et pilotage stratégique dans l'entreprise agricole. In L.G. Soler ed., *Instrumentation de gestion et conduite de l'entreprise*, *Cah. Econ. Sociol. Rurales* 28, 91-118.
- Herrero, M., Fawcett, R.H., Dent, J.B., 1999. Bio-economic evaluation of dairy farm management scenarios using integrated simulation and multiple-criteria models. *Agr Syst* 62, 169-188.
- Higgins, A.J., 1999. Optimising cane supply decisions within a sugar mill region. *J Sched* 2, 229-244.
- Higgins, A.J., Muchow, R.C., 2003. Assessing the potential benefits of alternative cane supply arrangements in the Australian sugar industry. *Agr Syst* 76, 623-638.

- Joannon, A, Papy, F, Martin, P, Souchère, V., 2005. Planning work constraints within farms to reduce runoff at catchment level. *Agr Ecosyst Environ* 111, 13-20.
- Johansson, R.C., Tsur, Y., Roe, T.L., Doukkali, R., Dinar, A., 2002. Pricing irrigation water: a review of theory and practice. *Water Policy* 4, 173-199.
- Johnston, R., Lawrence, P.R., 1988. Beyond vertical integration – The rise of value adding partnership. *Harvard Bus Rev* 88, 94-101.
- Jolicoeur, B., 2002. *Screening designs sensitivity of a nitrate leaching model (ANIMO) using a one-at-a-time method*. USA: State University of New York at Binghamton.
- Jouve, P., 1985. La comparaison d'itinéraires techniques : une méthode d'expérimentation agronomique en milieu réel. *Cah Rech Dev* 6, 39-44.
- Jouve, P., Mercoiret, M.-R., 1987. La recherche développement : une démarche pour mettre les recherches sur les systèmes de production au service du développement rural. *Cah Rech Dév* 16, 8-15.
- 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., Verbug, 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, J.C., 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming system simulation. *Eur J Agron* 18, 267-288.
- Kobayashi, K., Us Salan, M., 2000. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agron J* 92, 345-352.
- Labbé, F., Ruelle, P., Garin, P., Leroy, P., 2000. Modelling irrigation scheduling to analyse water management at farm level, during water shortages. *Eur J Agron* 12, 55-67.
- Lançon, J., Wery, J., Rapidel, B., Angokaye, M., Gerardeaux, E., Gaborel, C., Ballo, D., Fadegnon, B., 2007. An improved methodology for integrated crop management systems, *Agron Sustain Dev* 27, 101-110.
- Landais, E., Deffontaines, J.-P., 1988. Les pratiques des agriculteurs. Point de vue sur un courant de la recherche agronomique. *Et Rur* 109, 125-158.
- Langeveld, J.W.A., van Keulen, H., de Haan, J.J., Kroonen-Backbier, B.M.A., Oenema, J., 2005. The nucleus and pilot farm research approach: experiences from The Netherlands. *Agr Syst* 84, 227-252.
- Langellier, P., Martiné, J.F., 2007. Crop modelling assessment of the potential regional irrigated sugarcane production increase. *Sugar Cane Int* 25, 8-12.
- Le Bail, M., 2005 Le bassin d'approvisionnement : territoire de la gestion agronomique de la qualité des productions végétales. In Prevost P. (ed.) *Agronomes et territoires*, Paris, L'Harmattan, 213-228.
- Le Gal P.-Y., Andrieu N., Lopez-Ridaura S., 2010. Which agronomic references for decision support tools? In Proceedings of Agro2010, the XIth ESA Congress, August 29th – September 3rd, 2010, Montpellier, France, pp. 989-990.
- Lefort, J., 1983. Les recherches développement intégrées en milieu rural. *Cah Rech Dév* 2, 14-22.
- Lejars, C., Auzoux, S., Siegmund, B., Letourmy, P., 2010. Implementing sugarcane quality-based payment systems using a decision support system. *Comput Electron Agr* 70, 225-233.
- Le Masson, P., Weil, B., Hatchuel, A., 2006. Les processus d'innovation. Conception innovante et croissance des entreprises. Paris, Lavoisier.
- Le Moigne J.M., 1977. *La théorie du système général. Théorie de la modélisation*. Paris, PUF.
- Le Moigne, J.-L., 1990. Intelligence artificielle et raisonnement économique. *Mondes Dev* 18, 11-18.
- Lopez-Ridaura, S., Hengsdijk, H., Kante, S., Lubbers, M., van Keulen, H., 2007. Evaluating alternatives for sustainable farming systems in the Cercle de Koutiala, Mali. A multi-scale approach. , In M. Donatelli, J. Hatfield, A. Rizzoli Eds *Farming System Design 2007, International Symposium on Methodologies on Integrated Analysis on Farm Production Systems*, Catania, Italy, 10-12 September 2007, book 1 – Farm-regional scale design and improvement, 29-30.
- 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. *Anim Res* 53, 363-382.
- Madelrieux, S., Dedieu, B., Dobremez, L., Girard, N., 2009. Patterns of work organization in livestock farms: the ATELAGE approach. *Livest Sci* 121, 28-37.
- Marshall, E., Bonneville, J.R., Francfort, I., 1994. *Fonctionnement et diagnostic globale de l'exploitation agricole. Une méthode interdisciplinaire pour la formation et le développement*. Dijon, ENESAD-SED.
- Martinet A.-Ch., 1990. Grandes questions épistémologiques et sciences de gestion. In A.-Ch. Martinet coord., *Epistémologies et sciences de gestion*, Paris, Economica, pp. 9-30.

- McCown, R.L., 2002. Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms, and prospects. *Agr Syst* 74, 179-220.
- McCown, R.L., Carberry, P.S., Hochman, Z., Dalglish, 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 Sci* 60, 1017-1030.
- Midler, C., 1990. Apprentissage et organisation. In *Actes du Séminaire Condor II, 1989-1990*, CRG, ESCP, pp. 77-97.
- Ménard, C., 1990. *L'économie des organisations*. Paris, France, La Découverte.
- Mérot, 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. *Agr Syst* 98, 108-118.
- Mérot, A., Bergez, J-E., 2010. IRRIGATE: A dynamic integrated model combining a knowledge-based model and mechanistic biophysical models for border irrigation management. *Environ Modell Softw* 25, 421-432.
- Meynard, J-M, Aggieri, F, Coulon, J-B, Habib, R, Thillon, J-P, 2006. *Recherches sur les systèmes agricoles innovants – Rapport du groupe de travail*. Inra, Paris.
- Moisdon, J.-C., 1984. Recherches en gestion et intervention. *Rev Fr Gestion* sept.-oct. 1984, 61-72.
- Moisdon, J.-C. (dir.), 1997. *Du mode d'existence des outils de gestion*. Paris, Seli Arslan, 7-44.
- Montginoul, M., Rieu, T., 1996. Instruments économiques et gestion de l'eau d'irrigation en France. *Houille Blanche* 8, 47-54.
- Moreau, J.-C., Delaby, L., Duru, M., Guérin, G., 2009. Démarches et outils de conseil autour du système fourrager : évolutions et concepts. *Fourrages* 200, 565-586.
- Mouchot C., 1990. Décision et sciences sociales. In A.-Ch. Martinet coord. *Epistémologies et sciences de gestion*, Paris, Economica, pp. 31-80.
- Napoléone, M., Chia, E., 2010. Repenser la coordination entre agricultures et coopératives laitières. Vers une gestion concertée de la saisonnalité de la collecte. *Gérer et Comprendre* 102, 58-68.
- Navarrete, M., Le Bail, M., 2007. SALADPLAN: a model of the decision-making process in lettuce and endive cropping. *Agron Sustain Dev* 27, 209-221.
- Nearing A.M., Deer-Ascough L.A., Lafen J.M., 1990. Sensitivity analysis of the WEPP hillslope profile erosion model. *Trans. ASAE* 33, 839-849.
- Osty, P.-L., 1978. L'exploitation agricole vue comme un système : diffusion de l'innovation et contribution au développement. *Bull Tech Inf* 326, 43-49.
- Passioura, J.B., 2010. Scaling up: the essence of effective agricultural research. *Funct Plant Biol* 37, 585-591.
- Papy, F., 1993. Nouveau contexte, nouveau conseil. *Bull. APCA* 50, 1-10.
- Papy, F., 1994. Working knowledge concerning technical systems and decision support. In J.B. Dent and M.J. McGregor (Eds), *Rural farming systems analysis : European perspectives*, London, UK, CAB international, 222-235.
- Perrot P, Pierret P, Landais E., 1995. L'analyse des trajectoires des exploitations agricoles. Une méthode pour analyser les modèles typologiques et étudier l'évolution de l'agriculture locale. *Économie Rurale* 228, 35-47.
- Queau, P., 1986. *Eloge de la simulation : de la vie des langages à la synthèse des images*. Ed. Champ Vallon, Coll. Milieux.
- Rossing, W.A.H., Jansma, J.E., De Ruijter, F.J., Schans, J., 1997. Operationalizing sustainability: exploring options for environmentally friendly flower bulb production systems. *Eur J Plant Pathol* 103, 217-234.
- Rotz, C. A., Mertens, D. R., Buckmaster, D. R., Allen, M. S., Harrison, J. H., 1999. A dairy herd model for use in whole farm simulations. *J Dairy Sci* 82, 2826-2840.
- Rowe, E. C., van Wijk, M. T., de Ridder, N., Giller, K. E., 2006. Nutrient allocation strategies across a simplified heterogeneous African smallholder farm. *Agr Ecosyst Environ* 116, 60-71.
- Roy, B., 1992. Science de la décision ou science de l'aide à la décision ? *Rev Int Syst* 6, 497-529.
- Sanchez-Giron, V., Serrano, A., Suarez, M., Hernanz, J.L., Navarrete, L., 2007. Economics of reduced tillage for cereal and legume production on rainfed farm enterprises of different sizes in semiarid conditions. *Soil Till Res* 95, 149-160.

- Schils, R.L.M., de Haan, M.H.A., Hemmer, J.G.A., van den Pol-van Dasselaar, A., De Boer, J.A., Evers, A.G., Holshof, G., van Middelkoop, J.C., Zom, R.L.G., 2007. DairyWise, a whole-farm dairy model. *J Dairy Sci* 90, 5334-5346.
- Sebillotte, M., 1974. Agronomie et Agriculture. Essai d'analyse des tâches de l'agronome. *Cah. Orstom, Sér. Biol.* 24, 3-25.
- Sebillotte, M., 1978. Itinéraires techniques et évolution de la pensée agronomique. *CR Acad Agric Fr* 64, 906-914.
- Sebillotte, M., 1987. Du champ cultivé aux pratiques des agriculteurs. Réflexion sur l'agronomie contemporaine. *CR Acad Agric Fr* 73, 69-81.
- Sebillotte, M., 1990. Système de culture : un concept opératoire pour les agronomes. In L. Combe, D. Picard (Eds.) *Les systèmes de culture*, Inra, Paris, 165-196.
- Sebillotte, M., Soler, L.G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs. Acquis et questions vives. In Brossier J., Vissac B. et Lemoigne J.L. (Eds) *Modélisation systémique et systèmes agraires*, Inra, Paris, 103-117.
- Sebillotte, M., 2005. Les trois métiers des agronomes. In Prevost P. (ed.) *Agronomes et territoires*, Paris, L'Harmattan, 479- 497.
- Selener, D., 1997. *Participatory Action Research and Social Change*. Cornell University, 383 p.
- Shah, N., 2005. Process industry supply chains. Advances and challenges. *Comput Chem Eng* 29, 1225-1235.
- Sharifi, M. A., Van Keulen, H., 1994. A decision support system for land use planning at farm enterprise level. *Agr Syst* 45, 239-257.
- Sissoko F., 2009. *Analyse des flux d'eau dans les systèmes de culture sous couverture végétale en zone Soudano sahélienne : cas du coton semé après une culture de Sorgho/Brachiaria au Sud du Mali*. Thèse de doctorat, Montpellier, SupAgro.
- Simon, H.A., 1976. *Administration behaviour. A study of decision-making processes in administrative organization*. 3ème Edition. Traduction française 1983, Economica, Paris, France.
- Singels, A., Donaldson, R.A., Smit, M.A., 2005. Improving biomass production and partitioning in sugarcane: theory and practice. *Field Crop Research* 92, 291-303.
- Singels, A. 2007. A new approach to implementing computer-based decision support for sugarcane farmers and extension staff. The case of My Canesim. *Proc Int Soc Sugar Cane Technol* 26, 211-219.
- Soler, L.-G., Tanguy, H., 1998. Contrats et négociations dans le secteur des vins de Champagne. *Gérer et Comprendre*, mars 1998, 74-86.
- Sterk, B., van Ittersum, M.K., Leeuwis, C., Rossing, W.A.H., van Keulen, H., van de Ven, G.W.J., 2006. Finding niches for whole-farm design models - contradictio in terminis? *Agr Syst* 87, 211-228.
- Sumberg, J., 2005. Constraints to the adoption of agricultural innovations - Is it time for a re-think? *Outlook Agr.* 34, 7-10.
- ten Berge, H.F.M., van Ittersum, M.K., Rossing, W.A.H., van de Ven, G.W.J., Schans, J., van de Sanden, P., 2000. Farming options for The Netherlands explored by multi-objective modelling. *Eur J Agron* 13, 263-277.
- Thepot, J., 1995 La modélisation en sciences de gestion ou l'irruption du tiers. *Rev Fr Gestion* 102, 66-70.
- Tittonell, P., van Wijk, M.T., Herrero, M., Rufino, M.C., de Ridder, N., Giller, K.E., 2009. Beyond resource constraints – Exploring the biophysical feasibility of options for the intensification of smallholder crop-livestock systems in Vihiga district, Kenya. *Agr Syst* 101, 1-19.
- Triomphe, B., 1988. Méthodes d'expérimentation en milieu rural. Approche bibliographique. *Cah Rech Dev* 17 : 11-20.
- Tripp, R., 1991. An overview of the cases of on-farm research. In R. Tripp ed., *Planned change in farming systems*, Wiley-Sayce, pp. 17-36.
- Val-Arreola, D., Kebreab, E., France, J., 2006. Modeling small-scale dairy farms in central Mexico using multi-criteria programming. *J Dairy Sci* 89, 1662-1672.
- Vall, E., Dugué, P., Blanchard, M., 2006. Le tissage des relations agriculture-élevage au fil du coton. *Cah Agr* 15, 72-79.
- Vance, P.R., 2001. Update on the state of nitrogen and phosphorus nutrition: Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition: Plant nutrition in a world of declining renewable resources. *Plant Physiol*, 127, 390-397.
- Vandersypen, K., Keita, A.C.T., Coulibaly, Y., Raes, D., Jamin, J.-Y., 2007. Formal and informal decision making on water management at the village level: A case study from the Office du Niger irrigation scheme (Mali). *Water Resour Res* 43.

- van de Ven, G.W.J., van Keulen, H., 2007. A mathematical approach to comparing environmental and economic goals in dairy farming: Identifying strategic development options. *Agr Syst* 94, 231-246.
- Vayssières, J., Guerrin, F., Paillat, J.-M., Lecomte, P., 2009. A global activity model for evaluating the sustainability of dairy enterprises Part I – Whole-farm dynamic model. *Agr Syst* 101, 128–138.
- Voinov, A., Bousquet, B., 2010. Modelling with stakeholders. *Environ Modell Softw* 25, 1268-1281.
- Waithaka, M.M., Thornton, P.K., Herrero, M., Shepherd, K.D., 2006. Bio-economic evaluation of farmers' perceptions of viable farms in western Kenya. *Agr Syst* 90, 243-271.
- Way, M.J., Goebel, F.R., 2003. Patterns of damage from *Eldana saccharina* (Lepidoptera: Pyralidae) in the South African sugar industry. *Proc S Afr Sug Technol Ass* 77, 239-240.
- Woodward, S.J.R., Romera, A.J., Beskow, W.B., Lovatt, S.J., 2008. Better simulation modelling to support farming systems innovation: review and synthesis. *New Zeal J Agr Res* 51, 235-252.
- World Bank, 2007. *World Bank Development Report 2008: Agriculture for Development*. World Bank, Washington DC.