



HAL
open science

De la trajectoire d'états des écosystèmes cultivés aux espaces territorialisés dynamiques : contribution à la prise en compte de la dimension temporelle dans une agronomie des territoires

Philippe Martin

► **To cite this version:**

Philippe Martin. De la trajectoire d'états des écosystèmes cultivés aux espaces territorialisés dynamiques : contribution à la prise en compte de la dimension temporelle dans une agronomie des territoires. Sciences du Vivant [q-bio]. Institut National Polytechnique (Toulouse), 2009. tel-02819891

HAL Id: tel-02819891

<https://hal.inrae.fr/tel-02819891v1>

Submitted on 6 Jun 2020

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.

INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE

6 Allée Emile Monso

BP 34038

31029 Toulouse Cedex 4

MEMOIRE D'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

*De la trajectoire d'états des écosystèmes
cultivés aux espaces territorialisés dynamiques :
contribution à la prise en compte de la
dimension temporelle dans une agronomie des
territoires*

- Tome 1 -

**Par Philippe Martin
(Maître de conférences AgroParisTech)**

Soutenue à Paris le 10 novembre 2009

Jury :

- | | |
|--|-------------------|
| - Marc BENOIT, Directeur de recherche, INRA | <i>Rapporteur</i> |
| - Daniel DELAHAYE, Prof. de Géographie Université de Caen, (HDR) | <i>Rapporteur</i> |
| - Michel DURU, Directeur de recherche, INRA | <i>Rapporteur</i> |
| - Marianne Le BAIL, Prof. d'Agronomie, AgroParisTech (HDR) | <i>Examineur</i> |
| - Charles BIELDERS, Prof. Conservation des sols, Louvain | <i>Examineur</i> |

Remerciements

Au moment de finir ce texte je tiens à remercier François Papy qui après avoir co-dirigé mon travail de thèse a su m'aider à structurer mes idées pour ce rapport d'HDR même s'il a fallu aller jusqu'au Brésil pour trouver le temps de le faire. Je souhaite aussi remercier Marianne Le Bail et Thierry Doré qui ont accepté de m'accompagner dans la maturation très progressive de ce texte. Mes remerciements vont aussi à Michel Duru qui a accepté de me parrainer au niveau de l'INPT (alors même qu'il devait gérer l'évaluation de son UMR) ainsi qu'aux autres membres du jury Daniel Delahaye, Marc Benoit et Charles Bielders qui ont accepté de prendre de leur temps pour évaluer mon rapport.

Mon travail sur l'érosion a bénéficié de l'aide de nombreuses personnes en premier lieu desquelles Jean-François Ouvry directeur de l'AREAS qui accompagne l'INRA depuis près de 25 ans avec un dynamisme jamais démenti. Mes pensées vont aussi aux partenaires des deux projets RDT à commencer par les membres du comité de pilotage qui se sont toujours montrés intéressés par nos travaux tout en n'hésitant pas à nous bousculer dans nos approches ; l'agence de l'eau Seine-Normandie (Cédric Deransart puis Vincent Martin), le département Seine-Maritime (Sandrine Curtenaz puis Dominique Chachuat) la DRDAF Haute-Normandie (Françoise Tromas puis Claire Jacquet-Patry) et les animateurs de syndicats de bassin versant (Bénédicte Lapierre puis Noémie Grandsire). Mon travail sur les trajectoires d'état n'aurait jamais vu le jour sans les membres du réseau « ruissellement » de Haute-Normandie : Yann Pivain co-concepteur des appareils de mesure, Olivier Planchon et son rugosimètre, Jean-Baptiste Richet grand sorcier qui arrive à faire pleuvoir quand il veut, Nicolas Piskiewicz qui a su traduire nos idées en logiciels ergonomiques, Nicolas Coufourier qui n'a jamais hésité à tester des techniques innovantes pour limiter le ruissellement ; Cyrille Barrier et Marc Klokiewicz qui ont œuvré pour la mise au point finale et l'entretien du matériel de mesure. Merci aussi à Laetitia, Denis, Véronique, Audrey et les autres.

Une grande partie des résultats présents dans ce rapport résulte de travaux d'étudiants qui ont accepté de me faire confiance pour leur encadrement à commencer par les doctorants comme Alexandre Joannon dont le calme n'a d'égal que la politesse ou Nathalie Lamanda et sa capacité à développer des collaborations scientifiques fructueuses. Merci aussi à Céline Ronfort et Noémie Schaller qui prennent la suite et qui ont déjà découvert mon goût pour les chocolats. Je tiens aussi à remercier tous les stagiaires qui ont apporté leur contribution sur mes différents chantiers de recherche : Delphine Nivoit, Muriel His, Sébastien Jeantils, Cédric Legout, Sarah Pascal, Benoit Lelaure et les autres qui me pardonneront de ne pas les citer nommément.

Mon travail est aussi le résultat de rencontres parfois fortuites mais toujours riches d'aventures humaines : Alain Leplaideur, André Rouzière et Eric Malézieux du CIRAD qui m'ont permis de transférer le concept de trajectoires d'états de la Normandie au Vanuatu ; Anne-Véronique Auzet qui m'a mis en contact avec les spécialistes européens de l'érosion lors des différents colloques de l'action COST 634. Ces rencontres concernent aussi mes collègues des sciences économiques et sociales qu'ils soient chercheurs ou enseignants qui m'ont aidés à comprendre d'autres modes de pensées scientifiques (Bernard Elyakime, Stéphane Cartier, Anne Mathieu, Sandrine Spaeter, François Hochereau, Odile Bourgain, Hélène Brives, Jean-Pierre Plavinet...).

Ce texte est aussi le résultat de discussions menées au sein de l'équipe Agiterre. Merci à Jean-Marc, Alain, Véronique, Brigitte pour ces échanges toujours fructueux.

Merci enfin à ma femme et à mes enfants pour leur patience et leurs encouragements.

Table des matières

Présentation du candidat.....	5
A. Fonctions exercées dans l'enseignement	7
B. Fonctions exercées en recherche	8
C. Expertise et divers	8
Trajectoire professionnelle :	9
Formation initiale : du diplôme d'ingénieur agronome au doctorat.....	9
Vers des fonctions d'encadrement de la recherche	9
Conception et conduite de projets de recherche.....	10
Panorama rapide de mes champs de recherche et de leur évolution	11
Activités de valorisation.....	12
Conclusion sur la trajectoire professionnelle :	14
Travaux de recherche.....	15
Introduction	17
I. Effet des pratiques sur l'état des écosystèmes cultivés : notion de trajectoire d'états	21
A. Pas de temps court : ruissellement dans le Pays de Caux	21
B. Conception et utilisation de trajectoires d'états de longue durée : systèmes cocotiers en Mélanésie	54
II. Analyse des pratiques agricoles au sein d'espace territorialisés : application au ruissellement érosif	65
A. Analyse des marges de manœuvre d'un agriculteur individuel	65
B. Coordonner les marges de manœuvre d'agriculteurs d'un même bassin versant	68
C. Apports des sciences économiques et sociales au regard de l'agronome sur les changements dans les territoires agricoles	72
Conclusion sur l'analyse des pratiques agricoles au sein d'espaces territorialisés	83
III. Projet de recherche : dynamique des espaces territorialisés	84
A. Les fondements du projet de recherche.....	84
B. Déclinaison du projet de recherche	87
Conclusion sur le projet de recherche : Synergies et limites des deux volets proposés.....	90
Conclusion générale.....	92
Références citées.....	94
Annexe liste des publications par rubrique.....	103

Présentation du candidat

NB : dans les pages qui suivent les références aux travaux dans lesquels j'ai été impliqué sont données entre crochets avec des codes thématiques : ex : « ACL »=article avec comité de lecture ; « MEM »=mémoire d'étudiant...

L'ensemble de ces références est repris dans l'annexe 1 avec le détail des codes.

Curriculum vitae

Philippe MARTIN

Nationalité :	Française
Date et lieu de naissance :	11 janvier 1967 à Poitiers (Vienne)
Situation familiale :	Marié, 4 enfants
Adresse professionnelle :	AgroParisTech, UMR 1048 SAD APT Département SIAFEE Bâtiment EGER 78850 Thiverval-Grignon Tel : 33 1 30 81 59 30 Fax : 33 1 30 81 59 39 e-mail : philippe.martin@agroparistech.fr
Fonction actuelle :	Maître de conférences
Organisme :	AgroParisTech
Compétences :	Enseignement et Recherche en agronomie appliquée aux relations entre activité agricole et environnement
Formation :	DOCTORAT EN AGRONOMIE (INA PARIS-GRIGNON) Sujet de thèse : " Pratiques culturales, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord-Ouest de l'Europe. Application aux intercultures du Pays de Caux (Haute-Normandie)". Mention très honorable avec les félicitations du jury composé de A. Capillon (P), C. Cheverry (Rap.), D. Picard (Rap.), J. Poesen, A.V Auzet, F. Papy. INGENIEUR AGRONOME de l'Institut National Agronomique Paris-Grignon, spécialisation « Sciences et techniques des productions végétales »
Compétences linguistiques :	Anglais, notions d'allemand et d'espagnol
Régions d'expérience professionnelle :	France, Congo (Brazzaville), missions en Roumanie et au Vanuatu

A. Fonctions exercées dans l'enseignement

- 1997-2009 **Maître de Conférences en agronomie**, section 5 (productions végétales) de la Commission Nationale des Enseignants-Chercheurs du Ministère de l'Agriculture
Membre du département AGER (INA P-G) puis SIAFEE (AGROPARISTECH) et de l'UMR SAD APT INRA/AgroParisTech.
Depuis 2008 : Participation à la création et co-responsabilité de la dominante d'approfondissement Ingénierie de l'environnement : eau, déchets et aménagements durables (IDEA) d'AgroParisTech (40 étudiants en 2008-2009)
Depuis 2005 : Elu (suppléant) au **conseil d'administration** de l'INA P-G devenu AgroParisTech en 2007
Membre (représentant du département AGER puis SIAFEE) de différentes **commissions de l'INA P-G puis d'AgroParisTech (Titularisation des maîtres de conférences** de 2005 à 2006, **Profils de compétences** depuis 2003, **Définition des contours des domaines d'enseignement** à AgroParisTech en 2008, **Socle commun d'enseignement** de 2008 à 2009).
Depuis 2004 : Elu au **conseil des enseignants** de l'INA P-G puis d'AgroParisTech
Depuis 1999 : Membre titulaire, puis suppléant (2008), du **bureau du département AGER devenu SIAFEE en 2007**

1998-2008 : Co-responsable de l'option « Agriculture et risques environnementaux » du DAA AGER (5 modules structurés sur 2 mois) et suivi des relations avec les anciens élèves du DAA AGER.

1991-1997 Assistant d'Enseignement et de Recherche Contractuel (INA Paris-Grignon)

1991-1994 : Coordinateur d'un programme Européen TEMPUS de coopération pour la promotion de l'enseignement supérieur agronomique entre l'université de Bucarest l'INA P-G et la FSAG (Gembloux).

1989-1991 Volontaire du Service National au Congo. Enseignement secondaire et développement agricole.

B. Fonctions exercées en recherche

2005-2008 **Responsable de l'équipe de recherche AGITERRE** (Approche agronomique des innovations à l'échelle des exploitations et des territoires) au SADAPT (6 personnes).

2007-2009 : **Coordinateur d'un programme de recherche AcTerre** (APR Risques Décisions Territoires du MEDAD volet 2, 6 partenaires, 99K€)

Depuis 2006 : Elu (représentant des enseignants) au **conseil de service** de l'UMR SAD APT

2004-2005 **Responsable de l'équipe de recherche RUFÉ** (Régulation des usages à des fins environnementales) au SAD APT (5 personnes).

2004-2007 : **Coordinateur d'un programme de recherche DigeCob** (APR Risques Décisions Territoires du MEDD volet 1, 6 partenaires, 80K€)

1999-2004 2000-2004 : **Co-animateur de l'atelier « Environnement-Territoire »** du SAD APT

1999-2001 : Membre du **conseil de direction provisoire** de l'UMR SAD APT

Relecteur d'un à deux articles par an parmi les revues : Catena, Journal of Environmental Management, Soil and Tillage Research, Cahiers Agriculture.

Encadrement de thèses :

- A. Joannon (2000-2004), en co-encadrement (33%) avec V. Souchère sous la direction de F. Papy
- N. Lamanda (2001-2005), en co-encadrement (50%) avec E. Malézieux sous la direction de T. Doré
- C. Ronfort (2006-), en co-encadrement (50%) avec V. Souchère sous la direction de J.M. Meynard
- N. Schaller (2008-), en co-encadrement (50%) avec C. Aubry sous la direction de P. Martin

C. Expertise et divers

2006-2007 Expert à la commission scientifique de l'APCA pour **l'évaluation des PRDA (Programmes Régionaux de Développement Agricole)**

Participation à l'**expertise ADEME sur les Techniques Culturelles Sans Labour** (groupe érosion piloté par JF. Ouvry de l'AREAS)

2005 Membre du **comité scientifique et du comité d'organisation du colloque international COST 634 « Soil conservation management, perception and policy »** (Rouen 5-7 juin 2005).

2001-2007 Animation du groupe régional d'acquisition de références sur le ruissellement (chambre d'agriculture de la Seine-Maritime et de l'Eure, Institut Technique de la Betterave industrielle, AREAS)

1997-2001 Participation au pôle de compétences « Sol et eau » de Haute-Normandie. Contribution à la cartographie de l'aléa érosif de Haute-Normandie.

1999-2000 Evaluation de projet de recherche, auprès du conseil régional de Midi-Pyrénées dans le cadre de l'appel à projets régional « Recherche, transfert de technologie ».

Trajectoire professionnelle :

Formation initiale : du diplôme d'ingénieur agronome au doctorat

Issu d'une famille d'agriculteurs, c'est presque naturellement que j'ai choisi de faire une classe préparatoire qui m'a mené à intégrer l'INA P-G en 1986. Très rapidement, mon choix s'est orienté vers la formation de Sciences et Techniques des productions végétales dirigée par Michel Sebillotte. Soucieux de maîtriser les bases de mon futur métier d'agronome, j'optais pour un stage de fin d'étude sur le diagnostic agronomique régional appliqué à l'élaboration du rendement et de la qualité de l'orge de brasserie ([AP-01]). Ce stage encadré par l'équipe des enseignants de la chaire (Marianne Le Bail et Jean-Marc Meynard) m'a permis de mesurer toute la rigueur nécessaire à un travail de recherche mené en milieu agricole. Il m'a aussi permis de mesurer l'importance de la dynamique temporelle dans le fonctionnement du système sol-plantes-atmosphère soumis aux techniques culturales.

Ayant opté pour un volontariat du service national à l'étranger, je devais choisir entre un poste de recherche agronomique sur les nématodes au Volcani center en Israël ; et un poste d'enseignement et de développement agricole au Congo. J'ai finalement opté pour l'enseignement et le développement agricole. Salarié d'un lycée privé j'étais chargé des cours de biologie et mathématiques. J'étais aussi responsable de l'exploitation agricole (maraichage et élevage porcin) dont il fallait re-déployer l'activité et diversifier les marchés afin de permettre le maintien d'un emploi et le financement partiel du lycée. De retour en France, en 1991, je souhaitais continuer à travailler en lien avec le développement agricole à l'étranger, mais j'avais pris conscience du fait que la thèse devenait un passage obligé pour accéder à certains postes en ce domaine. Par ailleurs, mon expérience au Congo m'avait conduit à apprécier l'enseignement. Ma réussite au concours d'Assistant d'Enseignement et de Recherche Contractuel (AERC), ouvert à la chaire d'agronomie de l'INA P-G, me permettait d'associer enseignement et préparation de thèse. La thèse, menée au sein de l'équipe de recherche du SAD de Paris-Grignon et co-encadrée par A. Capillon et F. Papy, portait sur le ruissellement en interculture, et fut soutenue en 1997 ([THESE]). Dès mon arrivée, il me fut aussi demandé de gérer un programme européen TEMPUS de coopération avec les universités agronomiques roumaines (Bucarest et Cluj-Napoca) de 1991 à 1994. Cette coopération qui impliquait aussi les collègues Belges de la Faculté Supérieure Agronomique de Gembloux fut l'occasion d'organiser des échanges d'étudiants entre nos instituts tout en contribuant à la formation complémentaire des enseignants roumains, via des séjours en France et en Belgique. Des colloques annuels permettaient aussi des échanges de vue sur la structuration des enseignements agronomiques de France, Belgique et Roumanie ([ENS-01]).

Vers des fonctions d'encadrement de la recherche

Les années 1997-1998 sont des années charnières dans ma trajectoire professionnelle. Ces années marquent la fin de mon travail de thèse et mon recrutement en tant que maître de conférences à l'INA P-G. Par ailleurs c'est aussi à cette période que s'est faite la fusion entre l'unité de recherche du SAD basée à Versailles et notre unité de Paris-Grignon. De janvier 1999 à 2001 j'ai été membre du "Conseil D'unité Provisoire" (CDP) qui avait pour mission de mettre en place une structure d'animation pérenne pour cette unité devenue UMR entretemps. Des réflexions menées est ressortie une structuration d'UMR en trois ateliers (Qualité : coordination entre acteurs et mécanismes de garantie ; Environnement – Territoires ; Rapports de prescription, activités agricoles et développement). De 2000 à

2004 j'ai été le co-animateur de l'atelier « Environnement-Territoire ». Ces ateliers étaient des collectifs de réflexion scientifiques associant sciences biotechniques et sciences économiques et sociales. Ce fut pour moi l'occasion de m'ouvrir à la recherche dans d'autres disciplines (zootechnie, économie, sociologie) tout en œuvrant à l'animation d'un collectif. A la même époque (2000), je me suis initié à l'encadrement doctoral à l'occasion de la thèse d'A. Joannon sur l'érosion hydrique ([THES-01]), sujet en lien étroit avec mon propre travail de thèse. Un an après, en 2001, j'élargissais mon champ de travail via le co-encadrement avec E. Malézieux (CIRAD) de la thèse de N. Lamanda sur l'évaluation des systèmes agroforestiers à base de cocotier au Vanuatu ([THES-02]).

Suite à l'évaluation de 2003, la structuration de notre UMR a été repensée et nous sommes passés des « ateliers » aux « équipes ». Le principe était de constituer des groupes de travail plus restreints et plus orientés vers un projet scientifique commun. En effet l'UMR SAD APT était d'assez grande taille (25 scientifiques et ingénieurs) et comportait une grande diversité de disciplines dont les objets sont parfois très différents les uns des autres (Economie, Agronomie, Zootechnie, Sociologie, Ergonomie, Psycho-sociologie, Gestion). En 2004 une nouvelle structuration en équipes a été mise en place. Elle se caractérisait par un grand nombre d'équipes (7) à effectifs plus réduits que ceux des ateliers. J'ai alors pris la responsabilité d'une de ces sept équipes. L'équipe dont j'étais responsable s'intitulait Régulation des Usages des ressources naturelles à des Fins Environnementales (RUFÉ). Elle regroupait la majeure partie des chercheurs des domaines biotechniques qui émargeaient précédemment à l'atelier « Environnement Territoire ». Lors de l'évaluation de l'UMR de juin 2005, l'équipe RUFÉ ayant été jugée trop dispersée par rapport à ses forces réelles (3 cadres et 1 technicien), nous l'avons fait évoluer en la centrant sur les thématiques agronomiques tout en maintenant et développant les relations avec les sciences économiques et sociales à l'extérieur de l'équipe. Ceci s'est accompagné d'un changement de nom, RUFÉ devenant AGITERRE pour « Approche Agronomique des Innovations à l'Echelle des Exploitations et des Territoires »¹.

Conception et conduite de projets de recherche

Le passage des ateliers aux équipes évoqué ci-dessus permettait, entre autres, d'aller vers des collectifs plus opérationnels pour répondre à des appels d'offre de recherche. Au-delà des échanges de vue enrichissant entre membres des ateliers, on souhaitait aller vers des collaborations effectives dans des opérations de recherche. Lors de la création de l'équipe RUFÉ les chercheurs qui la composaient avaient chacun leurs propres projets de recherche sans réelles connexions les uns avec les autres. C'est ainsi que pour aller vers une plus grande synergie entre les membres de l'équipe, en même temps que je rédigeais le projet d'équipe avec ses futurs membres, je déposais une réponse à un appel à proposition de recherche impliquant l'ensemble de l'équipe. Le projet proposé, intitulé Diget Cob (Elaboration et mise en œuvre de Dispositifs pour la Gestion des Territoires générant des Coulées boueuses), a été accepté et financé par le ministère en charge de l'environnement ([AP-11]). Il s'appuyait sur les membres de l'équipe qui avaient déjà une expérience dans le domaine de l'érosion (V. Souchère, A. Joannon, F. Papy), mais il impliquait aussi des chercheurs en sociologie émargeant dans une autre équipe de l'UMR (F. Hochereau, A. Mathieu) et des chercheurs en économie d'équipes extérieures à l'UMR (S. Spaeter de l'Université Louis Pasteur de Strasbourg et O. Bourgain du LECOR de l'ESITPA).

¹ Lors de l'évaluation de l'UMR par l'AERES, en 2009, cette équipe a été notée « A ». A partir de 2009 un rapprochement avec deux autres équipes de l'UMR a permis de créer une nouvelle équipe CONCEPTS (CONCilier Environnement et Production dans les Territoires agricoles et les Supply chains), dirigée par M. Tichit et V. Souchère. Lors de la même évaluation AERES de 2009, le projet de cette nouvelle équipe a été noté A⁺.

Soucieux de ne pas limiter notre champ d'action au chantier érosion, et souhaitant intégrer dans la dynamique de l'équipe la composante zootechnique (A. Havet), j'ai répondu favorablement à la sollicitation de Gilles Lemaire (INRA Lusignan) pour collaborer au projet ANR Agriculture et Développement Durable « Praiterre ». Ce projet visait à étudier les conditions de la réintroduction de surfaces prairiales dans une zone de polyculture élevage (Plaine de Niort) dans un but de restauration de la biodiversité patrimoniale (Outarde Canepetière). Pour l'équipe RUFÉ, l'idée était de valoriser, sur le terrain poitevin de la « biodiversité », des approches des exploitations agricoles et de leurs marges de manœuvre socio-techniques développées par ailleurs en Haute-Normandie (chantier érosion). Le but était aussi d'initier de nouvelles collaborations interdisciplinaires avec notamment d'autres équipes INRA du site de Grignon (UMR d'Agronomie (L. Guichard), UMR Environnement et Grande Culture (B. Gabrielle) et UMR d'Economie publique (F. Jacquet)) mais aussi avec le CNRS de Chizé (V. Bretagnolle) dans le domaine de l'écologie.

Les résultats obtenus dans les programmes Diget Cob et Praiterre ont permis de mettre en place deux nouveaux programmes de recherche, dans lesquels l'équipe AGITERRE a été pour le premier porteuse, pour le second d'emblée associée : AcTerre (Anticiper et accompagner des évolutions de territoires agricoles sensibles aux coulées boueuses) et BiodivAgrim (Conservation de la biodiversité dans les agro-écosystèmes : une modélisation spatialement explicite des paysages). Ces deux projets sont chacun porteur d'un sujet de thèse dont j'ai défini les contours et que je co-encadre. Le sujet porté par BiodivAgrim vise à renforcer la genericité de nos approches en proposant une modélisation conceptuelle du raisonnement agronomique prévalant à la mise en place des assolements et successions de culture au niveau des exploitations agricoles soumises à des contextes changeants ([THES-EC-02]). Le sujet porté par AcTerre vise à intégrer la manière dont les changements de contexte socio-économico-politique à venir peuvent induire des changements de fonctionnement d'exploitation agricole avec un impact sur la production de ruissellement à la parcelle et au bassin versant ([THES-EC-01]).

Panorama rapide de mes champs de recherche et de leur évolution

Mes recherches portent sur les relations entre territoire agricole et environnement. Je travaille plus particulièrement sur deux axes :

- (1) l'effet de l'organisation spatio-temporelle des pratiques agricoles sur les phénomènes écologiques
- (2) la recherche d'amélioration de la situation environnementale basée sur l'analyse des marges de manœuvre individuelles et collectives dont disposent les agriculteurs en lien avec les autres acteurs des territoires.

Le premier axe m'a conduit à développer des collaborations avec des spécialistes du sol et des écologues. Le deuxième axe a ouvert la voie à des échanges avec les sciences économiques et sociales.

En termes d'objets supports des recherches, mes travaux ont porté initialement sur la thématique du ruissellement érosif. Ils ont été menés dans le cadre du programme GESSOL² puis des projet RDT Diget-Cob³ et RDT AcTerre⁴. Depuis 2000 cette

² De 1998 à 2004 (2 projets successifs)

³ De 2004 à 2007

⁴ De 2007 à 2009

thématique s'est élargie à d'autres domaines. Le projet CIRAD « Optimisation des Systèmes à Base Cocotiers (OSBAC) »⁵ m'a permis de traiter de l'occupation des territoires insulaires de Mélanésie par les systèmes de culture à base cocotier avec les conséquences alimentaires et environnementales associées ([AP-06] ; [ACL-09] ; [ACL-13] ; [ACL-16]). Par ailleurs, le projet ANR ADD « PRAIRies TERritoires Ressources et Environnement (PRAITERRE) »⁶, piloté par l'INRA de Lusignan, m'a permis de traiter de l'occupation des territoires de type « plaines céréalières » par les parcelles de prairies à des fins de maintien de la biodiversité en Poitou-Charentes ([COM-23] ; [SOUMIS-02]). Le projet ANR Biodivagrim⁷ qui a succédé à Praiterre a quant à lui permis d'élargir la gamme des situations étudiées en traitant en parallèle des sites en Poitou-Charentes, Bretagne, et Gascogne.

La thématique du ruissellement érosif, étudiée en continu depuis mon doctorat, est celle sur laquelle j'ai pu développer chacun des deux axes annoncés ci-dessus. C'est aussi la thématique qui a nourri le plus abondamment ce mémoire de recherche. L'étude des systèmes à base cocotiers m'a permis d'éprouver le concept de « trajectoire d'états » élaboré sur le ruissellement sur une autre thématique, les trajectoires de couvert cocotier, pour des pas de temps bien plus importants que pour le ruissellement ([OS-03] ; [ACL-13]). Cette thématique m'a aussi permis d'aborder la dynamique de territoires plus vastes que la parcelle ou l'exploitation avec une analyse du développement des cocoteraies dans un espace insulaire ([ACL-09]). Cette approche territoriale initiée au Vanuatu a été reprise pour le projet Praiterre et elle constitue une part importante de mon projet de recherche qui s'appuie sur les projets Acterre (ruissellement) et Biodivagrim (biodiversité).

Activités de valorisation

Lien enseignement recherche

En tant qu'enseignant-chercheur, j'ai toujours souhaité associer les étudiants à mes recherches tout en valorisant mes recherches dans la construction pédagogique d'enseignements, le plus souvent pluridisciplinaires. Deux enseignements reflètent particulièrement ce fonctionnement. Il s'agit de l'initiation à l'ingénierie de projet (INIP), séquence de deux mois située en milieu de deuxième année du cursus agronome (niveau M1) à AgroParisTech, qui porte sur le thème « Gestion et aménagement des eaux dans un bassin versant » ([ENS-03] ; [ENS-08]). L'autre enseignement marquant correspond à l'option « Agriculture et risques environnementaux » (ARE) du DAA « Agronomie Environnement » (AGER), de niveau M2, dont j'ai eu la responsabilité pendant une dizaine d'années ([ENS-02]).

L'INIP « bassin versant » consiste à étudier les différentes composantes d'un bassin versant rivière afin d'en retourner une image d'ensemble aux populations qui y résident. Cet enseignement mobilise des enseignants d'agronomie, de science du sol, de chimie analytique, de droit de l'environnement et de sociologie. Après un premier traitement des données existantes conduisant à l'acquisition de techniques proposées par les différentes disciplines, les étudiants doivent mener à terme un projet qui réponde aux attentes des populations locales exprimées lors d'une table ronde initiale. Dans le cadre de cet enseignement que je co-anime, j'ai valorisé à quatre reprises des terrains de recherche sur

⁵ De 2000 à 2004

⁶ De 2006 à 2009

⁷ De 2008 à 2012

lesquels je travaillais, en Haute-Normandie (Pays de Caux) ou en Poitou-Charentes (Plaine de Niort)⁸.

La structure de l'option ARE du DAA AGER résulte, en grande partie, de mon expérience de recherche. Basée initialement sur des disciplines biotechniques telles que l'agronomie, la science du sol et la chimie, j'ai eu à cœur de progressivement faire évoluer cette option via l'intervention de collègues de droit, d'économie et de sociologie de l'environnement émergeant majoritairement soit au corps enseignant d'AgroParisTech soit à l'UMR SAD APT. Le chantier de recherche érosion dans le Pays de Caux y a aussi été valorisé lors d'études de terrain ou de projets d'ingénieurs pour aider les étudiants à percevoir les interactions entre acteurs sur une thématique environnementale à forte composante spatiale ([MEM-22] ;[MEM-28]).

Activité de transfert et expertise

Au fil des années, j'ai pu développer une activité d'expertise liée à mes activités de recherche. De 1997 à 2001 j'ai participé au pôle de compétences « sol et eau » Haute-Normandie dont le but était de réunir chercheurs, administratifs, élus et financeurs afin de proposer des solutions aux problèmes liés au ruissellement érosif. A cette occasion j'ai pu contribuer à l'établissement de la cartographie « aléa érosion » pour la Haute-Normandie ([AP-03]), c'est aussi dans cette mouvance que mes résultats de thèse ont servi de références pour la mise en place de mesures agri-environnementales de lutte contre le ruissellement en Haute-Normandie⁹. A partir de 1998 j'ai commencé à collaborer avec les conseillers des chambre d'agriculture de Seine-Maritime et de l'Eure pour la conception et l'utilisation de dispositifs de mesure du ruissellement et des états de surface visant à acquérir des références techniques diffusables auprès des agriculteurs et des décideurs publics ([AP-05] ; [COM-11]). A la même époque j'ai aussi été sollicité par la chambre d'agriculture de Picardie qui visait la certification des pratiques agricoles (référentiel Quali'Terre), notamment en ce qui concerne le respect de l'environnement. J'ai participé à ce programme en tant qu'expert pour les problèmes érosifs. J'ai de nouveau collaboré avec ces partenaires de 2003 à 2006 pour l'élaboration d'un diagnostic agri-environnemental des exploitations qui comportait entre autres un volet ruissellement-érosion. Au début des années 2000, j'ai aussi participé au groupe Ferti-Mieux élargi piloté par l'ANDA qui regroupait des experts des différentes thématiques environnementales en lien avec l'activité agricole (gestion de l'eau des phytosanitaires, de l'érosion...). L'objectif était de mettre en œuvre pour ces thématiques la méthode développée dans le cadre des opérations volontaires Ferti-Mieux initiées en 1992. Plus récemment, en 2006, j'ai été sollicité comme expert par l'APCA pour évaluer les programmes régionaux de développement agricole de six chambres régionales d'agriculture. En 2007, nous avons organisé un colloque destiné aux décideurs, techniciens et financiers (60 personnes pendant 2 jours) afin d'échanger sur les productions des scientifiques de notre projet Diget-Cob et de développer de nouvelles collaborations ([COM-SC-12]).

⁸ Les travaux réalisés dans le cadre de l'INIP sont mis à disposition des partenaires locaux à l'adresse <http://138.102.82.2/enseignements/inip-bv=rubrique63>

⁹ Ces mesures concernaient la mise en oeuvre de déchaumages à socs ou de cultures intermédiaires de moutarde en interculture.

Conclusion sur la trajectoire professionnelle :

A l'issue de ce rapide survol je souhaiterais revenir sur ce qui m'apparaît constituer des traits marquants de mon parcours :

- Construction de collaborations inter-disciplinaires : intégré à une unité INRA SAD dès mon recrutement j'ai rapidement été incité à mener des approches pluri-disciplinaires dans mes recherches. Ceci s'est traduit par ma prise de responsabilité dans l'animation de l'atelier « Environnement territoire » qui regroupait sciences biotechniques économiques et sociales autour d'un thème commun. Ceci s'est encore retrouvé dans la structuration des équipes RUFÉ et AGITERRE et des programmes de recherches Diget-Cob (lien avec l'économie et la sociologie) et Biodivagrim (lien avec l'écologie et la modélisation spatiale...).
- Montage et suivi de projets : je me suis souvent retrouvé dans des situations où il fallait monter et suivre des projets innovants. Ce fut le cas lors de mon VSNE au Congo, lors du programme TEMPUS sur l'enseignement agronomique avec la Roumanie. Plus en lien avec mes recherches j'ai aussi développé en partenariat avec le développement agricole et une PME un outil de mesure du ruissellement. De façon plus académique, en lien avec mes collègues de l'UMR SAD APT, j'ai aussi conçu et fait financer deux projets de thèse actuellement en cours (C. Ronfort et N. Schaller).
- Vision intégrée de mon métier : le métier d'enseignant-chercheur m'a conduit à développer des liens entre les activités de recherche, d'enseignement et de développement. S'il est vrai que la concurrence entre ces activités est réelle, il n'en reste pas moins qu'au fil de ma trajectoire j'ai surtout cherché à valoriser les synergies en profitant de travaux d'étudiants pour développer des recherches (cas de la Plaine de Niort) ou en offrant aux étudiants des terrains d'apprentissage issu de mes recherches en lien avec les acteurs locaux (INIP, option ARE).

Sur le plan scientifique ces traits sont mis au service d'une thématique agronomique qui, partant de l'analyse des processus, tend vers l'analyse des pratiques afin de mieux prendre en compte la dimension temporelle dans une agronomie des territoires. C'est ce que je vais présenter dans la partie suivante.

Travaux de recherche

Introduction

Ces dernières décennies, l'agriculture mondiale a connu une forte croissance. En 1996, la déclaration de Rome sur la sécurité alimentaire mondiale¹⁰ indiquait que cette production était encore insuffisante et souhaitait son accroissement pour réduire de moitié, d'ici 2015, le nombre de personnes qui dans le monde souffraient de la faim. Malgré des tensions conjoncturelles l'objectif de la déclaration de Rome ne semble pas irréaliste, même à plus longue échéance, si on en croit la prospective Agrimonde 2050¹¹. Toutefois, ainsi que le rappelle le Millenium Assessment¹² les succès passés de l'agriculture ont été obtenus en grande partie aux dépens de l'environnement, notamment en ce qui concerne la qualité des eaux le maintien du capital sol et la biodiversité. Pour l'agriculture, le maintien de la fonction d'alimentation de la population mondiale doit donc se faire, à l'avenir, avec une meilleure prise en compte des enjeux environnementaux souhaités par la société civile. Cette société civile évolue par ailleurs rapidement puisqu'en 2008, le seuil de 50% de la population mondiale résidant dans les villes était dépassé contre seulement 30% en 1950 (Wéron, 2007). Il résulte de cette évolution un paradoxe qui fait que sociologiquement la population agricole peut se trouver numériquement marginalisée alors que géographiquement, les territoires agricoles et urbains n'ont jamais été aussi intriqués du fait d'un développement important des espaces périurbains. Face à cette situation il est important d'essayer de trouver de nouveaux équilibres entre les différentes fonctions que doivent assumer les espaces agricoles (Papy and Torre, 2002; N'Dienor *et al.*, 2005) dans un contexte souvent conflictuel (Torre *et al.*, 2006).

Face à cette situation, que peut faire un agronome ?

Une première réponse est que l'agronome est incité à aller vers des systèmes techniques qui dépassent l'échelle de gestion de la parcelle et de l'exploitation agricole ([DO-01], (Benoît and Papy, 2000; Caron, 2005). En effet, les enjeux environnementaux évoqués ci-dessus sont conditionnés par un ensemble de mécanismes qui s'expriment à des échelles qui coïncident rarement avec la parcelle ou le territoire d'exploitation (bassin versant, corridor écologique) (Benoît and Papy, 1997, 2000). L'agronome qui souhaite traiter des relations entre agriculture et environnement est donc amené à mettre en place des ponts avec des disciplines dont les processus environnementaux sont le cœur de métier, au premier lieu desquelles la science du sol et l'écologie. En dialoguant avec ces disciplines il va chercher à comprendre et modéliser la manière dont l'activité agricole oriente les mécanismes écologiques. Ceci génère notamment un changement de point de vue pour l'agronome. L'approche agronomique classique étudie l'effet des pratiques sur la production ((Sebillotte, 1974), [DO-01]). Cette relation n'est pas directe mais passe par l'effet des pratiques sur les états du sol et de la végétation en interaction avec le climat. Dans l'approche orientée « environnement », ce sont les états du milieu qui sont considérés comme la production essentielle des pratiques. Les effets sur la production n'étant plus considérés que comme une contrainte à respecter pour assurer la durabilité du système agricole. Malgré ce changement de point de vue, l'agronome ne devient pas écologue ou hydrologue pour autant. Là où les disciplines du milieu « naturel » vont chercher à acquérir une meilleure connaissance des processus bio-physiques qui conditionnent, par exemple, les flux de polluants, l'agronome va, de manière

¹⁰ <http://www.fao.org/docrep/003/w3613f/w3613f00.HTM>

¹¹ Conduite par l'INRA et le CIRAD de 2006 à 2008

http://www.paris.inra.fr/var/prospective/storage/fckeditor/file/Agrimonde8p_fr.pdf

¹² <http://www.millenniumassessment.org/en/index.aspx>

complémentaire, chercher à comprendre l'effet des organisations multi-échelle des pratiques agricoles sur les processus identifiés dans le but d'améliorer l'état environnemental du système.

Une réponse complémentaire est aussi que les agronomes ont intérêt à se rapprocher des disciplines qui ont dans leur projet de rendre compte des comportements humains. L'agronome s'intéresse aux logiques techniques des agriculteurs¹³. Cette logique permet d'expliquer une partie du réel constaté, et l'agronome s'appuie sur elle pour proposer des modifications en cas de problème identifié. Mais l'humain est complexe et l'apport d'autres disciplines peut aider l'agronome à faire évoluer ses objets tout en restant agronome. De même l'agronome peut aider les autres disciplines à faire évoluer leurs modèles, par exemple en intégrant mieux les logiques techniques des agriculteurs que l'agronome peut mettre à jour.

C'est ce double rapprochement vers les sciences du milieu d'une part, vers les sciences économiques sociales et humaines d'autre part, proposé par différents agronomes (Gliessman, 1998; Benoît and Papy, 2000; Meynard, 2008; Warner, 2008), que je me suis efforcé de présenter dans ce mémoire.

De l'espace physique au territoire :

Lors des collaborations avec les disciplines traitant des processus environnementaux, j'ai eu à prendre en compte différents niveaux spatiaux. Un premier niveau est celui des espaces écologiques pertinents [OS-05] propres aux sciences du milieu naturel. Par espaces écologiques pertinents on entend les espaces nécessaires et suffisants à prendre en compte par rapport à un enjeu environnemental considéré. Le bassin versant est le principal espace écologique pertinent au niveau duquel j'ai travaillé.

Les mécanismes qui s'expriment au niveau des espaces écologiques sont orientés par l'activité humaine qui s'exerce au sein d'espaces appropriés et gérés que nous qualifierons de territoire (Raffestin, 1980). Ces territoires, pour l'agronome, sont en premier lieu les territoires d'exploitation agricole mais, par extension, ce sont aussi tous les territoires qui interfèrent avec l'activité agricole au premier lieu desquels celui des zonages environnementaux faisant objet de gestion (zone Natura 2000, syndicat de rivière ou de bassin versant...) car ils sont sources des enjeux environnementaux transmis par la société aux agriculteurs. Sont aussi à prendre en compte les bassins d'approvisionnement de produits agricoles car ils orientent fortement les choix techniques des agriculteurs (Le Bail, 2005; Navarrete *et al.*, 2006). Ces différents territoires peuvent pour partie s'appuyer sur des réalités biophysiques (ex bassin versant) mais relèvent aussi pour une large part d'une construction sociale impliquant une diversité d'acteurs : quel exutoire considérer pour un bassin versant ? Quelle extension donner à une zone Natura 2000 ? Cette diversité d'acteurs est à prendre en compte par l'agronome pour étudier les systèmes agricoles en collaboration avec les sciences économiques sociales et humaines.

Agronomie des paysages ou agronomie des territoires ?

Mon travail oscille entre paysage et territoire. Une précision s'impose quant au sens que je donne au terme paysage. Ma notion du paysage est, de fait, plus proche de celle portée par l'écologie du paysage (Burel and Baudry, 1999b), où on se centre sur les processus

¹³ Ce projet se retrouve dans la définition de l'itinéraire technique vu comme la combinaison logique et ordonnée de techniques culturales mises en œuvre pour atteindre un objectif (Sebillotte, M., 1974. Agronomie et agriculture, analyse des tâches de l'agronome. Cah. Orstom série Biologie, 3-25.)

écologiques (flux d'eau, de populations d'animaux ou de plantes...), que de celle des paysages vus et vécus au sens de la géo-agronomie portée par Deffontaines (Deffontaines, 1998). La question s'est posée de savoir s'il fallait parler d'agronomie des territoires ou d'agronomie des paysages. Le débat n'est pas clos au niveau des agronomes qui s'approprient récemment des thématiques jusqu'alors réservés aux géographes ou aux agronomes tropicaux (Milleville, 1984; Caron, 2005; Castella, 2007). Un collectif d'agronomes a proposé récemment le terme de « Landscape agronomy » pour ce type de recherche scientifique (Benoît *et al.*, 2007). L'objectif affiché étant de faire évoluer la discipline agronomique comme la « Landscape ecology » avait fait évoluer l'écologie (Burel and Baudry, 1999a). D'autres auteurs parlent d'agronomie des territoires (Papy, 2001; Lardon *et al.*, 2008). Notons qu'un poste de maître de conférences a été ouvert sur cet intitulé « d'agronomie des territoires », en 2009, à Montpellier SupAgro. De fait, il semble que « Landscape agronomy » soit la traduction en anglais la plus compréhensible pour les non francophones du terme « agronomie des territoires ». Personnellement, dans la ligne de F. Papy (Papy, 2001), j'ai préféré le terme d'agronomie des territoires car je souhaitais plus insister sur les logiques techniques mobilisées que sur le résultat constaté de ces logiques. En tout état de cause, il ne s'agit pas pour moi d'investir une nouvelle discipline mais de contribuer à montrer ce que l'agronomie peut gagner à investir les territoires et les paysages (Hervé, 2008)¹⁴.

Vers différentes temporalités...

L'état des espaces et des territoires que nous étudions évolue au rythme de leurs différentes composantes. Agir sur de tels systèmes complexes nécessite donc, pour l'agronome, d'intégrer les différentes temporalités en associant au temps rond des cycles culturels et des successions de cultures, les temps longs et les temps de rupture (Pierret *et al.*, 1997; Papy, 2001; Bertrand and Terrasson, 2004). Il faut rendre compte de dynamiques d'évolution des états du milieu sous le coup de l'activité agricole tout en se posant la question de l'effet des évolutions du contexte socio-économique sur les pratiques agricoles. Ce sont là des questions centrales par rapport à notre travail de recherche passé et à venir.

... générant différentes méthodes d'étude

L'analyse de ces relations nécessite la mise en œuvre de différentes méthodes d'investigation depuis le suivi de parcelles à pas de temps régulier ou l'enquête en exploitation agricole pour la reconstruction d'itinéraires techniques ou de trajectoires d'exploitations (Sebillotte, 2005). Dans certains systèmes les pas de temps mis en œuvre sont tellement longs que les liens entre techniques et états générés ne peuvent pas directement être mis en évidence sur des pas de temps compatibles avec la demande sociétale. On est alors amené à reconstituer des trajectoires d'états sur la base d'état constatés à la même date et considérés comme différentes étapes d'une même trajectoire¹⁵.

L'évolution du contexte peut être considérée du point de vue de la relecture historique afin de relever ce qui a pu agir et qui pourrait agir de nouveau. Mais, pour une science de l'action comme l'agronomie, il est aussi intéressant de s'inscrire dans une démarche prospective visant à explorer des futurs probables afin d'en explorer les conséquences sur les phénomènes écologiques et de permettre à la société de débattre de différents choix

¹⁴ <http://www.inra.fr/sad/deffavril/temps3/ResumesT3.htm#resumT3S1>

¹⁵ C'est la technique mise en œuvre pour l'étude des cocotiers.

possibles en connaissance de cause (Mermet, 2003; Lambin and Geist, 2006; Castella, 2007).

Définition d'un objet émergent et plan du mémoire

L'établissement de liens avec les deux ensembles disciplinaires évoqués au début de cette introduction, les choix de pas de temps et de niveaux spatiaux retenus m'ont progressivement permis de définir un système socio-technique que l'on peut qualifier d'**espace territorialisé dynamique**. Par ce terme j'entends le fait qu'entrant par les espaces écologiques pertinents je m'intéresse aux territoires agricoles concernés et que j'analyse la dynamique de l'ensemble pour en améliorer la trajectoire environnementale.

Le plan adopté pour mon mémoire de recherche reflète la genèse de cet objet. La première partie « *Analyse multi-échelle de l'effet des pratiques sur les processus* » traite avant tout des collaborations avec les disciplines du milieu naturel. Cette partie se concentre sur la notion de trajectoire d'états générés par les pratiques culturelles. La deuxième partie « *De l'analyse des pratiques à la construction de systèmes techniques* » aborde l'intégration avec les sciences économiques et sociales. Cette partie permettra de traiter des espaces territorialisés. La dernière partie présente mon projet de recherche et revient sur cette notion d'espace territorialisé en l'inscrivant dans une dynamique temporelle de type prospectif.

I. Effet des pratiques sur l'état des écosystèmes cultivés : notion de trajectoire d'états

Dans cette première partie, nous présentons l'approche développée pour traiter de l'effet des pratiques agricoles sur les processus écologiques. Nous nous concentrerons sur deux thématiques : la maîtrise du ruissellement érosif dans les plaines limoneuses du nord-ouest de l'Europe (Pays de Caux) et la recherche d'une intégration de jardins vivriers dans les plantations de cocotiers en Mélanésie (Vanuatu). La thématique du ruissellement permettra d'introduire, pour des pas de temps courts (infra-annuels), la notion de trajectoire d'état. La généralité de cette notion sera testée, pour des pas de temps plus longs (plusieurs dizaines d'années), avec la thématique des jardins vivriers. Pour ces deux exemples, nous traiterons des méthodes d'analyse des pratiques agricoles et des conséquences sur les états du milieu retenus en fonction de la thématique. La thématique du ruissellement érosif nous permettra par ailleurs de montrer comment nous avons été amenés à concevoir des systèmes de culture innovants et des méthodes d'évaluation de ces systèmes en insistant sur le changement d'échelle de la parcelle au bassin versant. L'exemple des jardins vivriers quant à lui illustrera la manière dont nous avons traité des dynamiques territoriales d'évolution des systèmes de culture.

A. Pas de temps court : ruissellement dans le Pays de Caux

Contexte physique et humain

Les coulées de boue constituent un problème qui touche de nombreuses régions du Nord-ouest de l'Europe (Boardman *et al.*, 1994; Auzet *et al.*, 2006; Evrard *et al.*, 2007). Ces régions se caractérisent par (1) une prédominance de sols limoneux à fort potentiel agricole mais sensibles à la battance (loess belt) ; (2) des précipitations importantes ; (3) de fortes densités de population, souvent localisées en fond de vallon, ce qui en accroît d'autant plus la vulnérabilité. Les coulées de boue catastrophiques résultent de la concentration du ruissellement issu des parcelles agricoles dans des fonds de vallons, le plus souvent cultivés. Cette concentration conduit à l'arrachement de la terre et à la production de coulées boueuses qui peuvent endommager routes et habitations. Ces coulées boueuses peuvent aussi polluer les eaux de surfaces et bordures littorales. Dans certaines régions, comme la Haute-Normandie et plus particulièrement le Pays de Caux¹⁶, un sous-sol karstique induit une grande vulnérabilité des aquifères souterrains aux écoulements de surface via de nombreuses bétouilles et marnières¹⁷. L'approvisionnement en eau potable est alors directement menacé par les écoulements boueux.

Contexte historique des recherches et structuration du travail

Ces problèmes liés aux coulées boueuses en Haute-Normandie sont relativement récents dans leur ampleur actuelle. Une enquête réalisée peu de temps après la seconde guerre mondiale (Hénin and Gobillot, 1950) n'y fait que très peu référence. De fait, c'est surtout

¹⁶ Le Pays de Caux correspond aux 2/3 de la surface du département de la Seine-Maritime qui, avec le département de l'Eure, constitue la région Haute-Normandie.

¹⁷ Les bétouilles sont des formations naturelles résultant de la dissolution progressive de la craie par les eaux d'infiltration. Les marnières constituent d'anciens puits d'exploitation de la craie pour l'amendement calcaire des parcelles.

au cours des années 1970 que les phénomènes commencent à prendre de l'ampleur en lien avec l'évolution de la politique agricole commune et la périurbanisation (Vivier and Douyer, 1984; Ouvry, 1992). Dès cette époque, les collectivités locales réagissent, pour se protéger. C'est l'époque des grands ouvrages de rétention d'eau en amont des villes les plus touchées. Dès le début des années 1980, on cherche aussi à agir en amont des bassins de stockage, sur le territoire agricole, afin de réduire les quantités de ruissellement boueux qui arrivent dans ces ouvrages (Papy and Boiffin, 1988). L'idée est d'écarter les crues et de limiter les risques de débordement. Elle est aussi de réduire les arrivées de terre dans les ouvrages pour en freiner le comblement et en réduire les coûts d'entretien. En 1991, François Papy et Alain Capillon initient deux travaux de thèse en agronomie sur la thématique du ruissellement érosif. L'une d'elle, menée par V. Souchère, portait sur l'organisation spatiale des phénomènes à l'échelle du bassin versant (unité écologique fonctionnelle) et visait plus particulièrement à établir le rôle des motifs de surface, générés par les pratiques agricoles, sur la concentration du ruissellement (Souchère, 1995). Ma thèse, quant à elle, se concentrait sur les aspects temporels de la production de ruissellement et d'érosion diffuse à la parcelle [THESE]. Les principaux résultats de ce travail de thèse sont repris dans le premier volet de cette partie intitulé « **Diagnostic à la parcelle agricole** ».

En 1999, suite à une série d'inondations catastrophiques, les services de l'état par l'intermédiaire du préfet décident de créer un réseau continu de syndicats de bassin versant sur le territoire de la Seine-Maritime [ACL-14] ; [AP-11]. Ces syndicats, créés *ex nihilo*, sont en charge de la protection des biens et des personnes et sont fortement incités à recruter des animateurs agricoles qui seront globalement de jeunes diplômés, peu expérimentés. C'est dans cette mouvance que l'INRA et les structures de développement agricole locales se sont mobilisés pour établir des références sur les pratiques culturales permettant de réduire le ruissellement. Cet aspect de mes recherches sera présenté dans le deuxième volet « **Conception d'innovations techniques** ». Les innovations techniques sont testées *in situ* sur des pas de temps courts, de l'ordre de quelques mois. Pour aller au-delà, et tester le gain attendu au niveau des successions de culture, nous avons réfléchi à la mise en œuvre d'outils de diagnostic et de simulation « *in silico* ». Nous aborderons ce point avec le troisième volet « **Evaluation des systèmes de culture par rapport au ruissellement et à l'érosion diffuse** ». Le ruissellement érosif est un phénomène avec une forte composante spatiale dont l'étude ne peut se limiter au niveau de la parcelle agricole. Ce point sera développé dans le quatrième volet « **Intégration temporelle au niveau d'entités supérieures à la parcelle** ».

1. Diagnostic à la parcelle agricole

Le diagnostic effectué à ce niveau s'inspire fortement du diagnostic agronomique qui vise à établir les liens entre les techniques culturales et rendement. Ce travail réalisé en parcelle culturale repose sur un suivi d'états du milieu et du peuplement pour éviter les confusions d'effets et les liens directs « techniques-rendements » (Doré, 2000; Loyce and Wery, 2006; Meynard, 2008). Les états du milieu et du peuplement pertinents à suivre sont établis par une analyse bibliographique préalable. Nous présenterons donc la manière dont nous avons mis en évidence les états pertinents à suivre ainsi que la diversité de situations existante sur parcelles d'agriculteurs. Nous présenterons ensuite comment nous avons pu établir l'effet sur le ruissellement et l'érosion de ces différentes situations grâce à un dispositif expérimental construit sur des parcelles d'agriculteurs.

Etat des savoirs en 1991 et définition de l'objet d'étude : l'interculture

En 1991, au démarrage de ma thèse, les causes des écoulements boueux sur limon battant étaient déjà bien connues dans les grandes lignes. Dans son travail de thèse Boiffin avait établi le rôle des croûtes de battance dans la réduction de la capacité d'infiltration et l'initiation du flaquage (Boiffin, 1984). Valentin et Bresson avaient montré comment ces croûtes se structuraient dans le temps et dans l'espace (Valentin and Bresson, 1992). Boiffin, Papy et Eimberck avaient montré qu'il y avait une nette distinction à opérer entre des zones de production du ruissellement et des zones de départ de terre en fond de vallon (Boiffin *et al.*, 1988). L'érosion dans le Pays de Caux diffère de ce qui peut se rencontrer majoritairement aux USA qui, à l'époque, étaient la référence pour la protection des sols (Gril and Duvoux, 1991). Aux USA, les problèmes d'érosion hydrique découlent le plus souvent de pluies de forte intensité sur des surfaces meubles (*e.g.* fraîchement travaillées). L'intensité des pluies génère une saturation de la capacité d'infiltration et déclenche un ruissellement de surface important qui érode les parcelles là où il s'initie pour peu que la vitesse d'écoulement soit suffisante. Cette érosion s'ajoute à celle générée par l'impact direct des gouttes de pluie qui projette des agrégats de terre dans la lame d'eau ruisselante (« Effet splash »). Dans les plaines limoneuses du Nord-ouest de l'Europe, l'intensité des pluies est généralement plus faible et ne peut donc pas mobiliser de fortes quantités d'agrégats par effet splash, le ruissellement diffus est le plus souvent insuffisant pour générer une érosion marquée sur les parcelles où il se crée. Ce n'est qu'à l'issue de sa concentration en fond de vallon que l'érosion sera réellement marquée.

Les solutions techniques proposées à la parcelle aux USA reposaient avant tout sur le non labour pour maintenir un sol cohérent, protégé de l'action érosive des pluies par un mulch de résidus. Dans le contexte Haut-Normand, cette technique pouvait avoir tout son intérêt pour limiter les départs de terre dans les parcelles situées en fond de vallon. Pour les parcelles situées plus en amont on souhaitait avant tout réduire le ruissellement. Or le non labour semblait plutôt l'augmenter (Barriuso *et al.*, 1994) et ne constituait donc pas une voie à suivre en priorité. Pour le Pays de Caux, l'importance conférée à l'érosion par ruissellement concentré en fond de vallon faisait qu'on négligeait souvent le poids de l'érosion diffuse, point central de la lutte anti-érosive aux USA..

Dans ce contexte il était donc important d'analyser, dans les conditions Haut-Normande, les liens entre pratiques agricoles ruissellement et érosion diffuse. Ce fut le cœur de ma thèse. J'ai plus particulièrement focalisé le travail sur l'interculture, période comprise entre la récolte du précédent et l'implantation du suivant cultural. L'interculture correspond à la période d'automne-hiver pendant laquelle les risques de coulées boueuses sont non négligeables en Haute-Normandie¹⁸. L'interculture correspond aussi à une période où sont générées de larges gammes d'états de surface qui peuvent servir de points de comparaison pour ceux produits en période de culture.

Les facteurs clés des risques de ruissellement érosif en interculture

Notre objectif était de rendre compte de la diversité des pratiques agricoles en interculture dans le Pays de Caux, d'en mesurer l'impact sur le ruissellement et l'érosion diffuse et d'en tirer des enseignements sur la caractérisation des risques de ruissellement érosif associés aux pratiques en interculture.

¹⁸ Au début des années 90, l'interculture faisait l'objet d'une attention particulière du fait des risques environnementaux dont elle était l'enjeu tant du point de vue du ruissellement que du point de vue du lessivage des nitrates ou des risques de pullulation des adventices lié à la mise en place de la jachère PAC.

Une première analyse bibliographique a permis de mettre en évidence les facteurs clés qui permettaient de caractériser un potentiel de ruissellement et d'érosion diffuse. Parmi ces facteurs ressortaient :

- le développement de la croûte de battance qui réduit la capacité d'infiltration (Boiffin and Monnier, 1985)
- l'état hydrique du sol qui conditionne la vitesse de dégradation de la surface (Boiffin and Sebillotte, 1976)
- la rugosité de surface qui permet un stockage de surface et augmente la capacité d'infiltration (Trévisan, 1986; Freebairn *et al.*, 1991)
- le couvert végétal qui limite la dégradation de la surface par les pluies, et contribue à l'accroissement de l'infiltration (Cogo *et al.*, 1984; Sojka *et al.*, 1984; Meek *et al.*, 1989)
- l'état structural de l'horizon cultivé qui, s'il est dégradé (tassements), peut limiter l'infiltration (Johnson *et al.*, 1979)

L'effet de ces facteurs sur l'érosion diffuse va globalement dans le même sens que pour le ruissellement. La phase de formation de la croûte de battance génère une forte érosion diffuse (Mah *et al.*, 1992), une fois cette croûte formée, l'érosion diffuse se trouve réduite (Moore and Singer, 1990).

Analyse de la diversité des intercultures du Pays de Caux

Partant de là, j'ai cherché à relier la gamme des pratiques existantes en interculture aux gammes d'états générés sur les parcelles agricoles. Ce travail a été réalisé par voie d'enquêtes sur deux sites du Pays de Caux ; Blosseville et Fongueusemare correspondant à un total d'un millier d'hectares.

Les figures 1 et 2 illustrent le résultat de ces suivis tant pour la variabilité des périodes d'interculture (captées par les dates de semis et de récolte pour les principales cultures de la zone d'étude) que pour celle des états résultants (illustrés par la variabilité des taux de couverture du sol à la récolte) ([THESE]). Certaines situations sont relativement constantes tant du point de vue périodes d'interculture que de couvert du sol à la récolte (colza) d'autres sont beaucoup plus variables pour ces deux critères comme le lin.

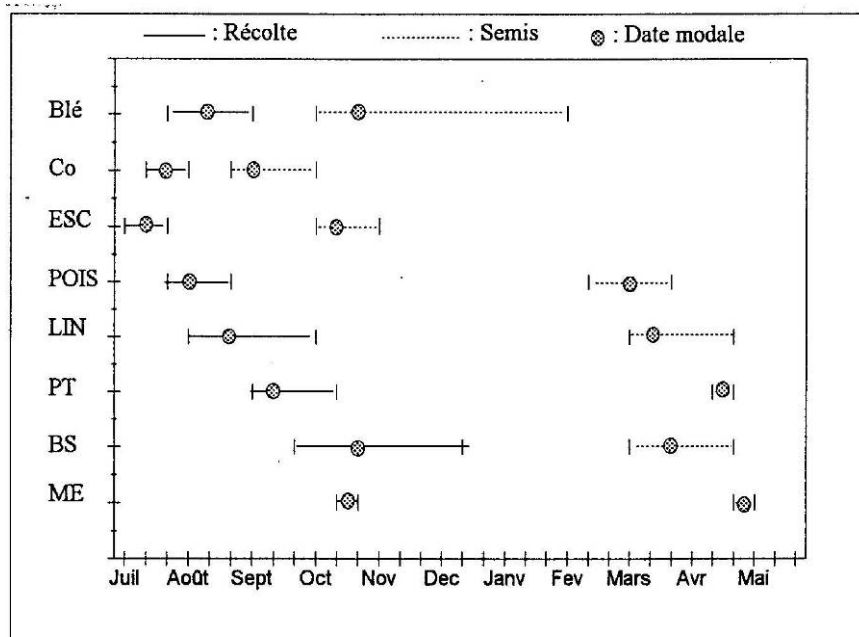


Figure 1 : Périodes de récolte et de semis pour les principales cultures du Pays de Caux. L'intervalle correspond aux décades extrêmes relevées pour les intercultures 1992-93 et 1993-94 (sites de Blosseville et Fongueusemare).

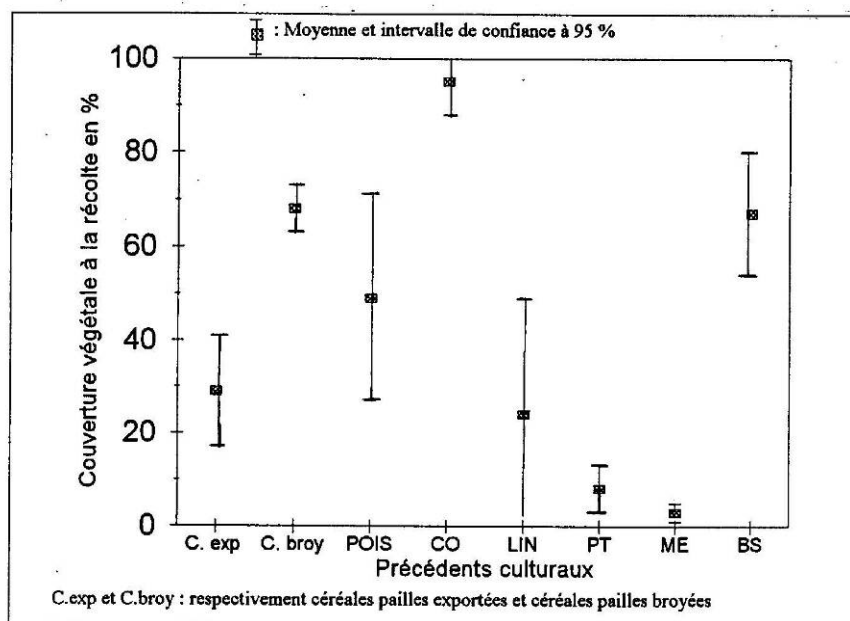


Figure 2 : Couverture végétale à la surface du sol après la récolte du précédent cultural. Sites de Blosseville et Fongueusemare, interculture 1993-1994 (résidus végétaux + adventices).

Les enquêtes ont aussi porté sur l'identification des techniques culturales mises en œuvre pendant la période d'interculture. Ce suivi a été effectué pour deux années (1992-1993 et 1993-1994) et un total de 1914 ha (environ 2 fois la superficie des sites étudiés). Il est ressorti de ce suivi que plus d'un tiers des surfaces (36%) ne faisaient l'objet d'aucune intervention en interculture. Dans ces situations, l'état pendant la période d'interculture est fortement conditionné par l'état à la récolte, **nous avons donc cherché à faire varier ces états pour en mesurer les effets sur le ruissellement érosif**. Sur les 64% faisant l'objet d'une intervention; plus de 3/4 des surfaces ne faisaient l'objet que d'une seule

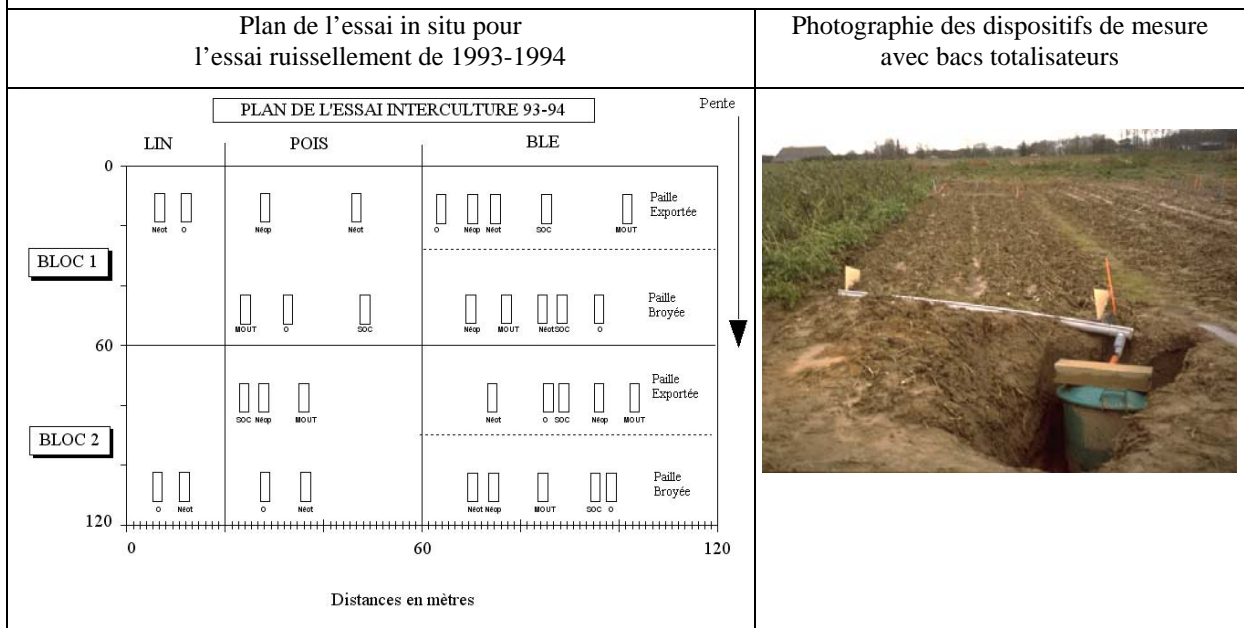
intervention. Partant de là, **nous avons choisi une stratégie d'intervention en interculture basée sur une seule intervention** qui nous semblait plus adapté aux pratiques en vigueur à l'époque. Pour les surfaces travaillées, 2 modes d'intervention ressortaient nettement avec des effets différenciés sur la surface du sol. La déchaumeuse à socs est une charrue qui travaille à faible profondeur et enfouit tous les résidus tout en générant une forte rugosité. On peut en attendre une surface initiale globalement favorable à l'infiltration de l'eau dans le sol mais non protégée de l'action dégradante des pluies, d'où une évolution défavorable à terme. Les outils à dents génèrent un enfouissement moins important des résidus, une rugosité dans le sens du travail plus faible que pour la déchaumeuse à socs mais aussi plus marquée dans le sens perpendiculaire au travail (billonnage). L'infiltration initiale peut être moins importante que pour le déchaumage à socs, la dégradation de la surface est limitée par la présence d'éventuels résidus, tout en étant favorisée par le billonnage. Au-delà de ces deux modes d'interventions majoritaires, il faut noter que seuls 3% des surfaces étaient semées en culture intermédiaire alors que leur rôle attendu de protection de la surface était potentiellement intéressant. Pour nos expérimentations nous avons donc retenus les trois interventions décrites ci-dessus.

Mise en place d'un test in situ d'une gamme de situations culturelles en interculture

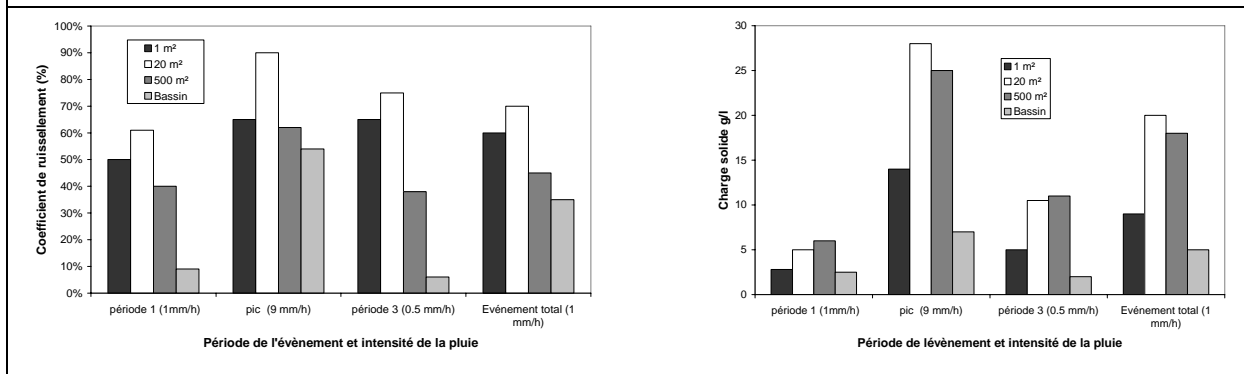
La combinaison de la bibliographie et des enquêtes de terrain ont permis de mettre en évidence la diversité de l'existant avec des hypothèses quant aux effets possibles sur le ruissellement. Pour tester ces hypothèses nous avons mis en place un essai sous pluies naturelles (encadré 1). Cet essai combinait une gamme d'états à la récolte avec différentes conduites d'interculture. L'essai a été structuré pour avoir une gamme de couverture du sol par les résidus végétaux allant d'une surface quasi nulle (pois pailles exportées et lin) à une couverture proche de 100 % (blé paille broyée). Les techniques mises en œuvre allaient de la non intervention à l'implantation d'une culture intermédiaire en passant par le déchaumage à dents et le déchaumage à socs. L'essai mis en place visait à suivre l'évolution des états des parcelles d'essai, la production de ruissellement et la charge solide de ce ruissellement (ruissellement boueux collecté dans des bacs totalisateurs).

Encadré 1 :
Choix d'une surface élémentaire adaptée pour l'expérimentation

Le choix des dimensions des parcelles d'essai (longueur et largeur) conditionne fortement la nature et la qualité du travail qui peut être réalisé. Si la surface d'étude est trop petite, on risque de ne pas capter certains mécanismes importants. Si la surface retenue est de trop grande taille il risque d'être difficile de générer la gamme des situations souhaitées dans les mêmes conditions. Au niveau de la parcelle agricole, les phénomènes érosifs sont fortement conditionnés par les motifs agricoles de surface. Nous avons donc retenu comme largeur de base une demie largeur de travail soit environ deux mètres. Pour la longueur, afin d'intégrer l'ensemble des traitements souhaité dans la même zone, nous avons choisi de travailler avec des longueurs de 10 m. Le fonctionnement des parcelles de 20 m² ainsi obtenues a été comparé à ce qu'on pouvait obtenir sur des parcelles de 500 m² plus représentatives de vraies parcelles agricoles mais difficilement gérables avec un essai comportant de nombreux traitements. Les figures ci-dessous extraites de ([OS-03]) illustrent le type de résultat obtenu tant pour le ruissellement que pour la charge solide dans le cas d'une surface nue en hiver. On montre que les parcelles de 20m² conduisent à des charges solides tout à fait comparables à la référence (500 m²) alors que le ruissellement est sur-estimé selon un facteur compris entre 1,5 et 2. Le fait que les charges solides soient comparables tient au fait qu'au bout de 5 mètres les eaux de surface atteignent leur vitesse limite et donc leur capacité de transport maximale (Chaplot and Le Bissonnais, 2000). La réduction de ruissellement avec la longueur de pente tient à l'augmentation de l'épaisseur de la lame ruisselée avec la longueur de pente (Poesen and Bryan, 1989-90).



Résultats de ruissellement et de charges solides obtenus pour la même pluie avec différentes échelles de mesure : cas d'une surface nue avec croûte de battance (in ([OS-03]))



Des évolutions différenciées d'états de surface

Le Tableau 1 illustre l'évolution des états des parcelles pour les deux variables que sont la rugosité de surface (TI%)¹⁹ et la couverture végétale du sol. Ces résultats ont permis de valider l'hypothèse que certaines techniques comme le déchaumage à soc (PLOUG) pouvait générer de fortes rugosité initiales mais que cette rugosité, en l'absence de protection du sol par les résidus, tendait à décroître au cours du temps sous l'action érosive des pluies pour atteindre des niveaux inférieurs à ce qu'on peut avoir avec des cultures intermédiaires (MUSTA) pour lesquelles la surface est bien protégée. Ces résultats ont aussi permis de valider le fait qu'à même date d'intervention, le travail du sol avec des outils à dents (ECULT) générerait des rugosités plus faibles que celles issue d'un déchaumage à soc (PLOUG). Immédiatement après le travail du sol, début octobre, un travail à dents en conditions humides (LCULT) pouvait générer une rugosité plus forte que celle créée par le déchaumage à socs en été mais se dégrader proportionnellement beaucoup plus vite pour atteindre de très faibles valeurs de TI fin janvier. Dans le même ordre d'idée, la non intervention (NT) conduit à des niveaux de rugosité bas mais constants. Fin janvier cette rugosité peut être supérieure à ce qu'on a sur des sols travaillés en automne.

Tableau 1 : Evolution des rugosité (TI%) et couvert végétaux pour les différents de l'essai ruissellement en interculture 1993-1994 (in ([ACL-05]).

IMT	Post-harvest conditions	Surface state parameters							
		TI (%)				Soil surface covered by both live vegetation and crop residues (%)			
		02/09/93 ^a	05/10/93 ^a	20/10/93 ^a	21/01/94 ^a	02/09/93	05/10/93	20/10/93	20/01/94
PLOUG	WP	33.6	12.6	7.3	3.9	0	1	2	13
	W	38.6	16.1	8.5	2.5	0	1	2	6
	P	23.1	5.8	3.2	2.5	0	1	1	30
	Mean ^b	31.7 c	11.4 a	6.3 bc	3.0 a	0 a	1 a	2 a	16 a
MUSTA	WP	18.5	9.4	7.4	5.8	0	23	90	35
	W	18.8	7.5	5.5	4.2	0	20	95	27
	P	22.3	12.0	8.7	5.5	10	18	74	34
	Mean	19.8 b	9.6 a	7.2 c	5.1 b	3 a	20 c	86 e	32 b
ECULT	WP	30.5	9.2	6.1	4.4	25	50	65	78
	W	24.1	8.5	2.7	0.8	15	27	46	69
	P	25.4	5.5	3.1	1.8	4	9	4	17
	Mean	26.7 c	7.7 a	4.0 bc	2.3 a	15 b	29 d	38 c	54 c
LCULT	WP	5.7	37.0	4.0	3.0	100	28	38	36
	W	5.6	37.2	2.4	0.6	60	7	8	8
	P	3.2	31.9	1.1	0.2	35	1	3	2
	Mean	4.8 a	35.4 b	2.5 a	1.3 a	65 c	12 b	16 b	15 a
NT	WP	5.7	5.7	5.7	5.5	100	100	100	100
	W	5.6	5.9	5.9	6.2	60	55	49	52
	P	3.2	3.2	3.2	3.2	35	55	49	52
	Mean	4.8 a	4.9 a	4.9 abc	5.0 b	65 c	63 e	62 d	55 c

^a Precisions on the dates 02/09/1993: immediately after tillage for PLOUG, MUSTA and ECULT; 05/10/1993: immediately after tillage for LCULT and 130 mm of cumulative rainfall since 02/09/1993; 20/10/1993: 222 mm of cumulative rainfall since 02/09/1993 and 92 mm since 05/10/1993; 20/01/1994: end of experiment. 502 mm of cumulative rainfall since 02/09/1993 and 372 mm since 05/10/1993.

^b "Mean" is the mean value for the 3 post-harvest conditions (WP: wheat field with pulverized straw; W: wheat field without straw; P: spring-pea field without straw). The tillage treatments were: mustard intercrop (MUSTA), mouldboard ploughing (PLOUG), early cultivation (ECULT), late cultivation (LCULT) and no-tillage (NT). Mean values for treatment at a given date followed by the same letter do not differ significantly at $P < 0.05$.

¹⁹ La mesure se fait avec un rugosimètre à aiguilles. $TI = (C-L)/L * 100$ où C=longueur de la courbe lorsque l'on relie tous les sommets des aiguilles du rugosimètre et L=longueur du rugosimètre.

Des dynamiques de ruissellements et d'érosion diffuse contrastées

Face aux évolutions d'états constatées, la question était de savoir si cela s'accompagnait d'évolutions dans les productions de ruissellement et d'érosion diffuse. La Figure 3 montre que c'est bien le cas. Cette figure reprend les évènements pluvieux les plus proches des dates d'observation des états de surface et qui de surcroît n'ont pas généré de débordement des bacs collecteurs de ruissellement. Le ruissellement et la charge solide sont donc connus avec exactitude pour ces 4 pluies. A travers ces résultats on montre que le classement des techniques culturales varie selon le critère considéré (ruissellement ou érosion) et que ce classement varie au cours du temps en lien avec l'évolution des états de surface.

Pour les deux premières pluies le non travail du sol (1) conduit à des résultats comparables tant du point de vue du ruissellement que de l'érosion. Les autres traitements qui ont fait l'objet d'un travail du sol conduisent pour la première pluie à des ruissellements plus faibles que le non travail mais à des niveaux d'érosion plus importants. Pour la deuxième pluie le déchaumage à dents (4) conduit à des ruissellements supérieurs à ceux du non travail du sol. Avec le développement du couvert, la culture intermédiaire de moutarde (3) tend à générer les plus faibles niveaux de ruissellement et d'érosion bien que cet effet s'estompe en fin d'interculture du fait de la réduction du couvert partiellement détruit par le gel. Le travail du sol tardif (5) se traduit rapidement par de forts niveaux de ruissellement et de départs de terre.

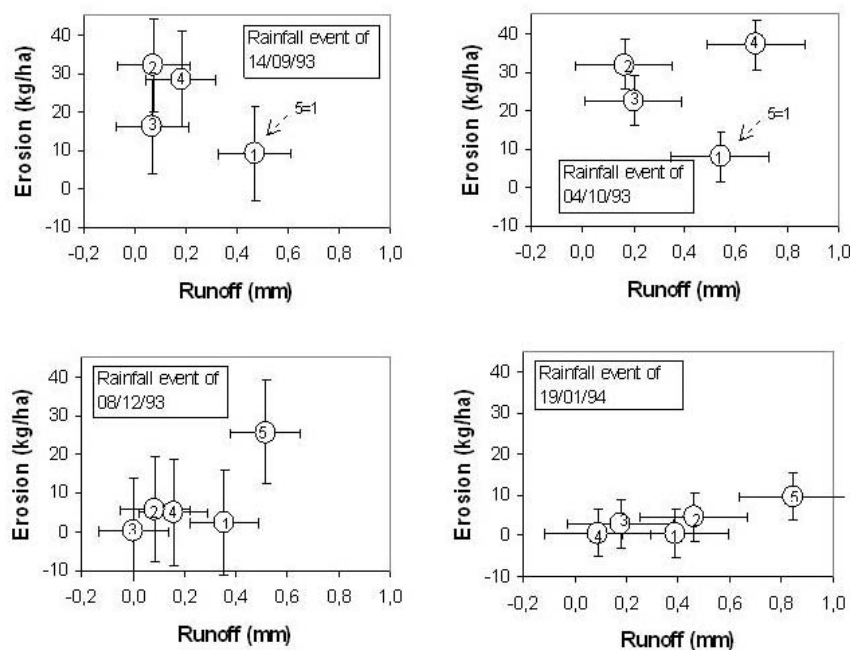


Figure 3 : Position relative des différentes conduites d'interculture pour 4 évènements pluvieux (période 1993-1994). Les barres horizontales et verticales donnent les intervalles de confiance (95%) pour la moyenne des 3 états à la récolte (Blé paille broyée, blé paille exportée, pois paille exportée). NT=1 ; PLOUG=2 ; MUSTA=3 ; ECULT=4 ; LCULT=5. Pour les pluies du 14/09/93 et du 04/10/93 ; NT et LCULT sont confondus car le travail du sol n'a pas encore eu lieu sur LCULT. (In ([ACL-03])).

Si on considère maintenant le cumul des ruissellements et des érosions diffuses sur la période d'interculture²⁰ (Figure 4), il apparaît que le déchaumage à socs (PLOUG) et la culture intermédiaire de moutarde (MUSTA) sont de bonnes solutions techniques pour réduire le ruissellement par rapport à l'état laissé à la récolte (NT). Le travail à dents réalisé le plus précocement (ECULT) limite le ruissellement mais sans effet durable. Le travail à dents en conditions humides (LCULT) conduit à plus de ruissellement que le sol non travaillé. Mis à part la culture intermédiaire de moutarde, tous les travaux du sol génèrent plus d'érosion diffuse que le maintien de l'état à la récolte.

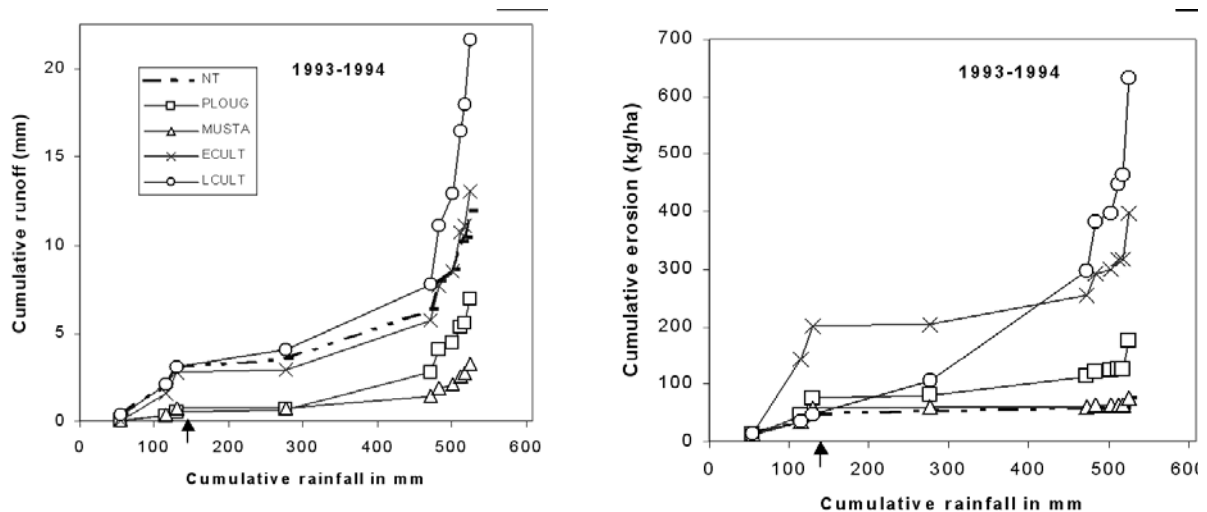


Figure 4: Ruissellement et érosion cumulée pour l'année 1993-1994 (post récolte du pois). Sur l'axe des X le 0 correspond à la date de travail du sol pour le déchaumage à socs (PLOUG), le déchaumage à dents précoce (ECULT) et le semis de moutarde (MUSTA). La flèche indique la date d'intervention pour le déchaumage en conditions plus humides (LCULT). NT correspond à la surface laissée sans intervention après la récolte du pois. (In ([ACL-03])).

Vers la notion de trajectoire d'états

Les essais réalisés en interculture permettent d'identifier des états de parcelles pouvant générer plus ou moins de ruissellement et d'érosion diffuse. Par « état de parcelle » on entend un ensemble de valeurs obtenues pour des caractéristiques retenues (rugosité, couverture végétale,...) car faisant sens à la fois pour les mécanismes écologiques et pour les pratiques agricoles²¹. Ces états de parcelles se succèdent dans le temps de façon cohérente avec la bibliographie pour constituer ce que nous appelons des trajectoires d'états. Pour un même état initial, les trajectoires pourront diverger sensiblement selon les conditions climatiques. L'évolution du couvert est relativement constante alors que l'évolution de la rugosité sera fortement dépendante du régime de pluie.

La gamme des états rencontrés pendant la période d'interculture est globalement plus large que celle des états rencontrés en période de culture. Partant de là nous avons proposé de rattacher les états rencontrés en période de culture, et identifiés par nos suivis de terrain, aux différentes situations culturales générées dans nos expérimentations en

²⁰ Cas du pois pour les pluies n'ayant pas généré de débordement de bac collecteur

²¹ La conductivité hydraulique à saturation (K_{sat}) aurait certainement eu une valeur explicative plus forte des ruissellements constatés mais aurait été plus difficile à relier aux pratiques agricoles.

interculture. Le Tableau 2 présente les associations auxquelles nous sommes parvenus (([OS-03]), ([ACL-12])). Sur la base des 6 états de référence décrits dans ce tableau, il est possible de décrire des trajectoires d'état pour les successions de cultures du Pays de Caux. La Figure 5 présente l'exemple de la trajectoire de la succession blé d'hiver –lin fibre de printemps, très répandue, qui correspondait à environ 14 % des terres labourables du Pays de Caux au milieu des années 90. On note, sur cet exemple, que selon les conditions climatiques certains points peuvent disparaître de la trajectoire (état 4). Il n'y a pas une trajectoire unique associée à une succession culturale mais une gamme de trajectoires dépendantes des techniques culturales et du climat de l'année. Notre objectif n'est pas de préciser les mécanismes à l'origine de ces variations mais de nous appuyer sur les résultats de spécialistes de ces questions pour discuter des différentes trajectoires d'états associées aux systèmes de culture. C'est la connaissance de cette gamme de situations qui permet de connaître le risque associé aux systèmes de culture cauchois tout en identifiant les périodes d'intervention possibles.

Point d'étape : A ce stade de notre travail, nous avons montré que les risques de ruissellement et d'érosion diffuse en interculture dépendaient (1) des états de surface des parcelles à la récolte, (2) du type d'intervention et des conditions dans lesquelles cette intervention était réalisée (précoce en conditions séchantes ou plus tardive en conditions plus humides).

Les dynamiques de ruissellement et d'érosion diffuse suivent celles des états de surface mais le ruissellement et l'érosion diffuse ne sont pas automatiquement corrélés. Certaines surfaces génèrent à la fois de forts ruissellement et de fortes érosions diffuses alors qu'on peut aussi avoir un ruissellement important avec très peu d'érosion diffuse ([ACL-03]).

Nous avons aussi montré que les résultats trouvés pour la période d'interculture permettaient de produire 6 états de référence à partir desquels on pouvait construire des trajectoires d'états intégrant aussi les périodes de culture des systèmes de culture cauchois.

En période d'interculture, les trajectoires d'état et les mesures de ruissellement ont montré que certaines techniques pré-existantes dans la population agricole permettaient de limiter fortement le ruissellement agricole. Si l'on veut réduire efficacement le ruissellement agricole en hiver et encore plus au printemps, on ne peut se limiter à ces résultats obtenus en interculture il faut aussi prendre en compte les techniques en période de culture. C'est ce que nous développons dans la partie suivante.

Tableau 2 : Etats de référence, gamme d'états et situations culturales correspondantes (([OS-03]) ; [ACL-12])).

Etat de référence	Gamme d'états	Situations culturales
1	Rugosité // >R2 Rugosité ⊥ indifférente Faciès <= F1 Couvert végétal indifférent	Culture intermédiaire Prairie, Surface juste travaillée (semis, déchaumage, sarclage...)
2	Rugosité // <=R1 Rugosité ⊥ >=R2 Faciès F2 Couvert végétal < 50 %	Outil à dents post récolte de lin (après avoir été battu par les pluies). Pommes de terre après défanage ou après arrachage.
3	Rugosité // >R3 Rugosité ⊥ indifférent Faciès <= F1 Couvert végétal < 5 %	Déchaumages à socs battus ou labours d'hiver
4	Rugosité // <=R1 Rugosité ⊥ <=R1 Faciès F2 Couvert végétal < 5 %	Post récolte de lin (non travaillé) , semis de céréale d'hiver battu culture peu développée
5	Rugosité // <=R2 Rugosité ⊥ indifférent Faciès >= F1 Couvert végétal > 50 %	Post récolte parcelles C.O.P. Cultures en place au mois de juin (sauf sarclage betterave maïs et pommes de terre).
6	Rugosité // <=R1 Rugosité ⊥ >= R3 Faciès F2 Couvert végétal > 50 %	Déchaumage à dents battu avec résidus en surface Pommes de terre en place..

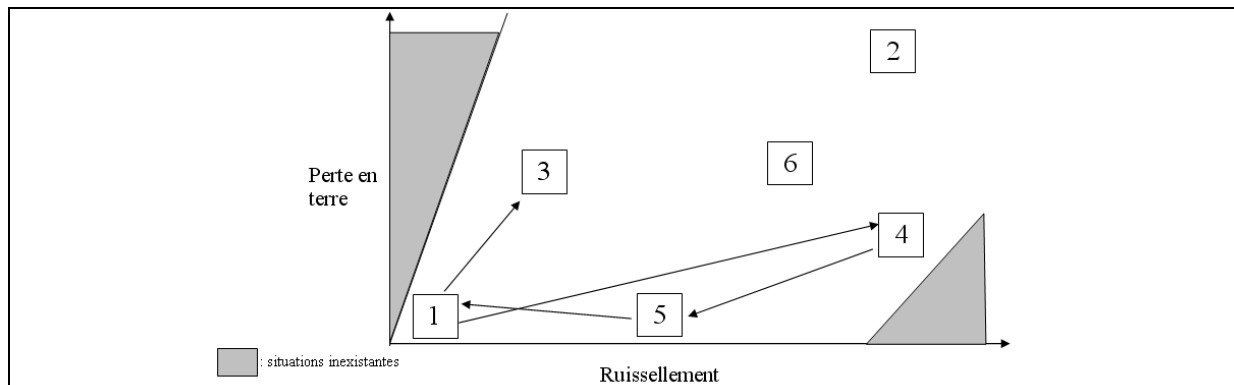
Avec :

Rugosité : RO (<1 cm) < R1 (de 1 à 2 cm) < R2 (de 2 à 5 cm) < R3 (de 5 à 10 cm) < R4 (de 10 à 15 cm). Rugosité // : mesurée dans le sens du travail, Rugosité ⊥ : mesurée perpendiculairement au sens du travail

On suppose que le sens du travail n'est pas perpendiculaire à la pente et qu'il ne s'oppose donc pas totalement aux écoulements.

Faciès : Fo (surface fragmentée) < F1 (croûte structurale et éventuellement flaques centimétriques de croûtes sédimentaires) < F2 (croûte sédimentaire avec connections plurimétriques linéaires (>10 % de croûte sédimentaire) ou damier (> 50 % de croûte sédimentaire)

Couvert végétal : somme plafonnée à 100 % du couvert de résidus végétaux et de peuplements végétaux en place.



Lors du semis du blé on est en situation 1. Avec les pluies qui dégradent la surface on évolue vers une situation 4 (fort ruissellement érosion diffuse non négligeable du fait d'une faible couverture du sol), puis 5 (réduction du ruissellement et encore plus de l'érosion par développement du couvert végétal). En cas d'automne peu pluvieux on peut éviter l'étape 4. Après la récolte du blé on est en situation 5. Dans plus de 70 % des cas on aura un déchaumage et dans 80 % des cas on aura un labour d'hiver ([MEM-00]) la combinaison déchaumage-labour d'hiver correspond à 67 % des cas. Pour cette combinaison on passera de la situation 5 à la situation 1 (déchaumage). On évoluera alors soit vers 3 (déchaumage à socs) soit vers 6 (déchaumage à dents). Le labour ramènera à 1 avec une évolution vers 3. Le semis du lin nous ramènera à 1. La croissance rapide du lin au printemps permet le plus souvent après semis d'éviter la situation 4 et de passer directement au 5.

Figure 5 : Répartition des états de référence dans le plan du ruissellement et de la charge solide et exemple de trajectoire d'état.

2. Conception de systèmes de culture innovants

Les enquêtes sur les techniques culturales relatives aux cultures du Pays de Caux ont montré, pour une même culture, une grande homogénéité de pratiques. Les trajectoires d'états relevées sur le terrain indiquaient par ailleurs de forts risques de ruissellement associés à ces pratiques tant que le couvert n'était pas développé. Ne disposant pas de solutions techniques pré-existantes parmi les pratiques agricoles du Pays de Caux pour limiter le ruissellement à ces stades sensibles, nous avons été amenés à concevoir de nouveaux systèmes de culture. Pour atteindre cet objectif j'ai contribué à l'élaboration d'un dispositif sociotechnique visant à concevoir et à tester in situ les innovations.

Elaboration d'un dispositif socio-technique de mesure

La recherche et le test d'innovations techniques ont nécessité le développement de matériels de mesure spécifiques. J'ai fortement contribué au développement de ce matériel conçu et mis en œuvre au sein d'une structure de recherche développement informelle qu'il m'est paru important de présenter pour mieux comprendre dans quel contexte mon activité scientifique s'est développée au début des années 2000.

1. Le réseau professionnel mobilisé autour des mesures de ruissellement

Le développement de nouvelles méthodologies de mesure n'aurait pas été possible sans un contexte humain favorable, lui-même lié à une situation de crise grave. A la fin des années 90, suite à de nombreuses inondations boueuses, les décideurs publics choisissent de relancer la lutte contre le ruissellement agricole. Cela se traduit notamment par le recrutement d'un conseiller ruissellement-érosion à la chambre d'agriculture de Seine-Maritime ainsi qu'à celle de l'Eure. Vers la même époque sont créés les syndicats de bassin versant qui visent la protection des biens et des personnes face aux inondations boueuses. Ces syndicats couvrent l'ensemble du territoire de la Seine-Maritime, leurs limites se calquent sur les limites des bassins versants topographiques ([ACL-14]). La création de ces syndicats s'accompagne du recrutement d'animateurs en charge de la réduction du ruissellement boueux sur les territoires agricoles. Les personnels recrutés sont la plupart du temps de jeunes diplômés, sans réelle expérience de terrain, qui doivent se construire leur propre expertise ([AP-11]). Parallèlement, les filières agricoles (pommes de terre et betteraves) qui souhaitent changer leur image de « cultures à l'origine des problèmes d'érosion », souhaitent aussi s'investir dans la lutte contre le ruissellement. Il résulte de ces éléments qu'au début des années 2000 de nombreux conseillers souhaitaient obtenir des références locales pour étayer un discours visant à réduire le ruissellement lié aux pratiques agricoles.

Partant de là, nous avons constitué un groupe de travail constitué des chambres d'agriculture de Haute-Normandie, de l'Institut Technique de la Betterave (ITB) et d'une association locale de producteurs de pommes de terre (ARPTHN). C'est ce groupe que j'ai animé en lien avec l'Association Régionale pour l'Etude et l'Amélioration des Sols (AREAS) qui a permis de développer l'équipement dont les grandes lignes sont rappelées ci-dessous (cf Figure 6).

2. Mesure du ruissellement

Les dispositifs de mesure du ruissellement (bacs collecteurs) que nous avons utilisés lors de nos premiers travaux de recherche avaient le mérite de la simplicité mais posaient un certain nombre de problèmes. Ils étaient notamment inadaptés pour les ruissellements extrêmes du fait des inévitables débordements de bacs collecteurs. Par ailleurs, ils ne

permettaient pas d'associer le ruissellement, mesuré de façon cumulée, aux précipitations enregistrées. Partant de là, nous avons donc cherché à développer un nouveau dispositif de mesure qui nous permette de tester des innovations techniques en période de culture. Une réflexion menée conjointement avec les chambres d'agriculture et l'AREAS a permis de mettre au point un matériel original de mesure du ruissellement. Ce matériel, équipé d'augets basculeurs permet un enregistrement en continu du ruissellement sur des parcelles de très faible pente et nécessite donc très peu de terrassement autour des parcelles de mesure assurant ainsi une économie de temps et de moyens pour la mise en place et l'enlèvement des dispositifs. Une fois mis au point, ce matériel a été multiplié sous contrat de licence exclusive ([AP-05]) par une entreprise locale²² et diffusé auprès des partenaires régionaux intéressés disposant de services d'expérimentation (AREAS, CA76, CA27, ITB, ARPTHN) ([COM-11]). Ces matériels au nombre d'une quarantaine, sont aujourd'hui encore étalonnés régulièrement par l'INRA grâce à un banc d'étalonnage mis au point par les techniciens du centre de Grignon (Barrier *et al.*, 2006).

Les systèmes de mesure du ruissellement ainsi mis au point génèrent de très nombreuses données informatiques (100 à 200 basculements par mm ruisselé). Nous avons donc développé des programmes informatiques afin d'assurer le traitement, le stockage et l'échange des données ([AP-11]). Les résultats de l'étalonnage sont intégrés au logiciel de traitement des données diffusé à tous les utilisateurs, ce qui permet des échanges de matériel entre les partenaires du réseau avec l'assurance de disposer des dernières courbes d'étalonnage des matériels.

²² <http://st.jpcl.free.fr/index.php3?l=content/environnement.inc>



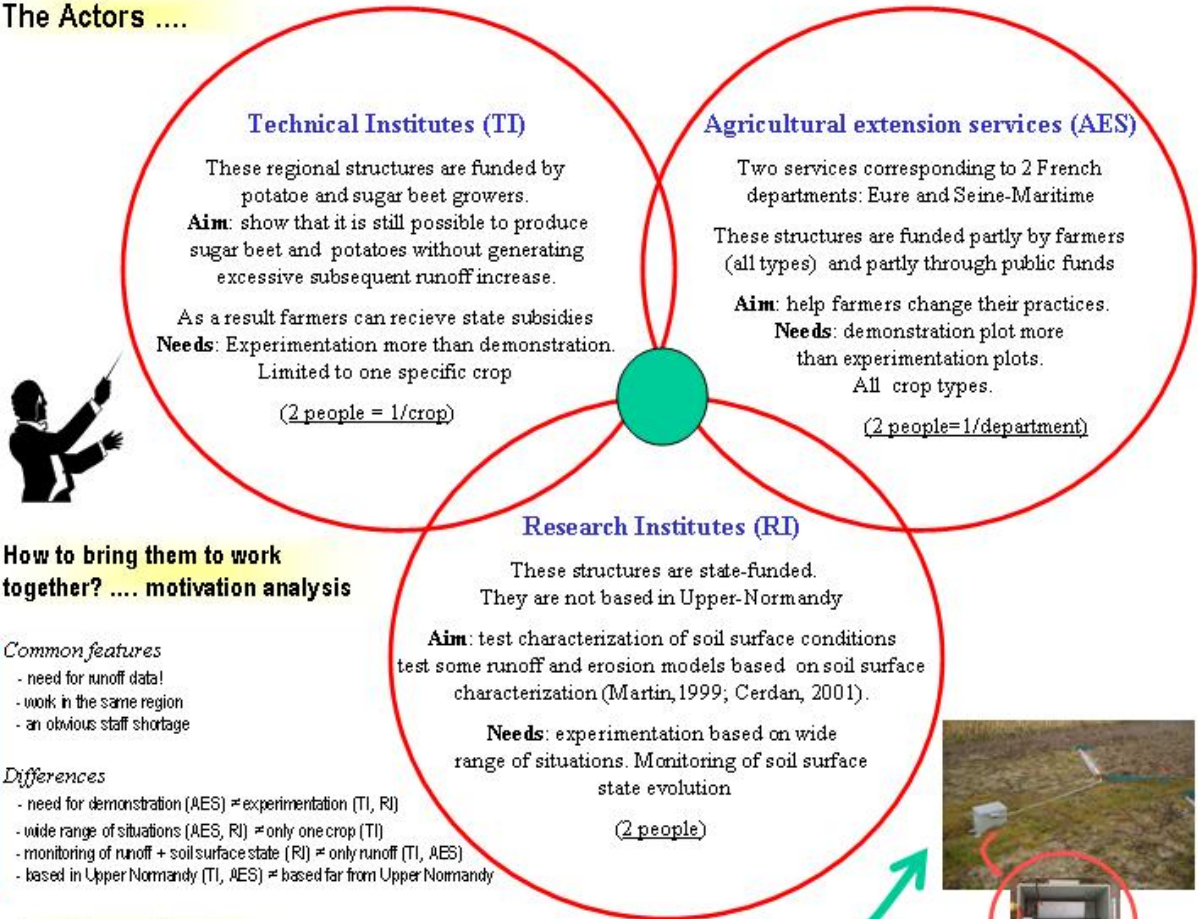
P. Martin*, C. Legout, O. Planchon, Y. Le Bissonnais
 *UMR INRA/INA P-GS ADAPT, 16 rue Claude Bernard 75231 Paris cedex 05, Em ail: pm.martin@inra.fr

Building a network for runoff-data production in Upper-Normandy (France): socio-technical aspects



COM-111 2012 1-9 March 2012

The Actors



How to bring them to work together? motivation analysis

Common features

- need for runoff data!
- work in the same region
- an obvious staff shortage

Differences

- need for demonstration (AES) ≠ experimentation (TI, RI)
- wide range of situations (AES, RI) ≠ only one crop (TI)
- monitoring of runoff + soil surface state (RI) ≠ only runoff (TI, AES)
- based in Upper Normandy (TI, AES) ≠ based far from Upper Normandy

Resulting work axes....

Conception of a new runoff measurement device (RI, AES)

- based on a tilting bucket system
- less than 15 cm between water entry and water exit
- equipped with a sediment sampler
- connected to an electronic data-recording system

Associated protocol (RI, AES, TI)

- Plot shape and dimension standardization
- Monitoring of soil surface state: (AES, TI, RI) : use of visual characterization + (RI) use of the IRD relief metre (Panchon et al., 2000)

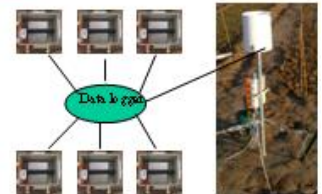
Building of network for runoff data production (RI, AES, TI)

- Twice yearly (beginning in 2001) general discussion on:
runoff results
soil surface state characterization
the choice of the new agricultural situations to be tested

⇒ In 2002, 40 devices in place (about 11/1000 km² of watershed)

Infiltration (mm/h)
R for Cerdan (***)

Direction/Gradient	R1	R2	R3
1-10 km 1/1000	18	18	18
1-10 km 1/500	18	18	18
1-10 km 1/200	18	18	18
1-10 km 1/100	18	18	18
1-10 km 1/50	18	18	18
1-10 km 1/20	18	18	18
1-10 km 1/10	18	18	18
1-10 km 1/5	18	18	18
1-10 km 1/2	18	18	18
1-10 km 1/1	18	18	18
1-10 km 1/0.5	18	18	18
1-10 km 1/0.2	18	18	18
1-10 km 1/0.1	18	18	18



Remains to be done....

- Common valorization of data: creation of a public data base ...
- Extension of the original discussion group to other participants.. (local funders, local administrations...)

Figure 6 : Poster de présentation du réseau socio-technique de mesure ([COM-11])

3. La rugosité

La rugosité de surface, est une variable importante de contrôle du ruissellement, qui, dans nos premiers travaux a fait l'objet de mesures en 2 dimensions (cf. Tableau 2 sur les trajectoires d'état). Nous avons alors pu remarquer que ces mesures en 2 dimensions étaient parfois insuffisantes pour discriminer certains traitements culturaux face au ruissellement. Nous avons donc souhaité aller vers des mesures 3D pour pouvoir aller vers une estimation des capacités de stockage d'eau en surface des différents traitements culturaux. Sur ce point nous n'avons pas cherché à créer *ex nihilo* un nouvel appareil comme pour le ruissellement. Souhaitant travailler en conditions naturelles sur des surfaces représentatives (4 m²), nous avons opté pour le rugosimètre à aiguilles mis au point par Olivier Planchon de l'IRD (Planchon *et al.*, 2002). Cet appareil, construit pour nous dans le cadre d'un programme de recherche, avait déjà fait ses preuves en milieu naturel au Sénégal et, contrairement aux appareils à faisceau laser, était insensible aux variations brusques d'ensoleillement fréquentes en Normandie. Le rugosimètre à aiguille est équipé d'un palpeur unique qui se déplace en x et en y selon des pas minimum de 1 cm. L'altitude z, obtenue à partir d'un niveau horizontal de référence, est connue avec une précision de 0.1 mm. L'appareil repose sur 4 supports fichés dans le sol à 30 cm. Ces supports sont équipés de tiges filetées permettant d'ajuster précisément le niveau du rugosimètre. Les fichiers obtenus avec le rugosimètre permettent d'effectuer des traitements informatiques dont le but est de déterminer la capacité de stockage d'eau en surface liée à la microtopographie issue du travail du sol (Planchon and Darboux, 2002). Il est aussi possible de faire varier numériquement les pentes des parcelles mesurées pour (1) les ramener toute à une même pente nulle et pouvoir ainsi comparer l'effet des traitements culturaux indépendamment des différences de pente locale des différents essais (2) tester la variation de capacité de stockage associée à une variation de pente pour les différents traitements.

4. Simulation de pluie

La simulation de pluie constitue un point important du dispositif monté avec les partenaires locaux. En effet les mesures de ruissellement en hiver sous pluie naturelle ne posent généralement pas de problème du fait de la régularité des précipitations. Au printemps, la situation est différente. Les ruissellements n'apparaissent réellement que lors d'épisodes pluvieux orageux. Or, on peut très bien avoir une campagne de mesure sans orage sur la parcelle d'essai. Le simulateur de pluie permet alors d'avoir une mesure standardisée de ruissellement. Sur le réseau Haut-Normand, c'est l'AREAS qui a développé des compétences pour mettre au point et mettre en œuvre un appareil conçu pour générer une pluie relativement homogène sur l'équivalent d'une demi-parcelle d'essai (5 mètres sur 2 mètres). La longueur minimale de 5 mètres était nécessaire pour capter les phénomènes d'érosion diffuse (Chaplot and Le Bissonnais, 2000).

Conception et test d'innovations techniques

Les risques de ruissellement en période de culture dépendent fortement des motifs agraires laissés en surface par les techniques d'implantation ainsi que des dynamiques de développement des cultures face à l'action dégradante des pluies pour la surface du sol. La situation est sensiblement différente selon que l'on considère une culture d'hiver comme le blé ou une culture de printemps comme la pomme de terre.

Pour le blé, semé en octobre-novembre, le lit de semence est dégradé par les pluies automnales de faible intensité (Pihan, 1978) avant que la végétation ne protège la surface du sol (cf. trajectoires d'état). La surface reste alors fortement ruisselante jusqu'au développement du couvert végétal en sortie d'hiver. La réduction du ruissellement passe par des techniques visant à retarder l'apparition de la croûte de battance ou à restaurer un état favorable à l'infiltration après une phase initiale de dégradation.

Dans le cadre du groupe de mesure du ruissellement, c'est la chambre d'agriculture de Seine-Maritime qui a travaillé cet aspect ; deux voies principales ont été testées : (1) implanter un couvert avec le blé afin de permettre une protection accrue de la surface du sol (2) fragmenter mécaniquement la croûte de battance une fois qu'elle s'est formée. La première piste n'a pas donné de résultats probants. En effet, il n'a pas été possible de trouver des couverts végétaux qui protègent suffisamment la surface sans concurrencer outre mesure la culture du blé (Carof *et al.*, 2007). La deuxième piste s'est révélée plus prometteuse à court terme. L'utilisation de matériel de désherbage utilisé en agriculture biologique (herse étrille et houe rotative) a montré qu'il était possible de réduire le ruissellement sur blé en fin d'hiver. Il n'empêche que l'efficacité de cette intervention dépend fortement des conditions hydriques hivernales. Les hivers pluvieux la rendent à la fois difficile de mise en œuvre et moins efficace ([AP-10] ; [AP-11]).

Pour la pomme de terre, plantée au printemps, la recherche conjointe d'une bonne tubérisation et d'une récolte aisée conduit à opter pour une culture en buttes avec très peu de mottes. Il en résulte, dès la plantation, une très forte rugosité perpendiculaire au sens du travail et une rugosité quasi nulle dans le sens du travail. En l'absence de couvert végétal, le développement de la croûte de battance survient rapidement sous les premières pluies à caractère orageux à cette saison. Le billonnage conduit ensuite à un fort ruissellement qui ne sera limité que partiellement par le développement du couvert végétal.

Pour réduire le ruissellement, on peut modifier la rugosité de surface des parcelles de pomme de terre afin de favoriser le stockage d'eau en surface et l'infiltration. Dans le cadre du groupe de mesure du ruissellement, j'ai participé à l'élaboration d'une solution technique de ce type avec l'AREAS et l'ARPTHN. Différentes options s'offrent pour générer une rugosité permettant de retenir de l'eau en conséquence. On peut générer des dépressions dans le sol ou constituer des micro-barrages dans les inter-billons. Après de rapides essais peu concluants du côté de la génération de dépressions nous sommes orientés vers la technique des micro-barrages. Mon rôle, mené dans le cadre du projet RDT1 Diget-Cob, a alors consisté à préciser la morphologie des micro-barrages pour retenir suffisamment d'eau, sachant que l'objectif à ce niveau était de pouvoir retenir les précipitations d'un orage décennal (40 mm en 2 heures).

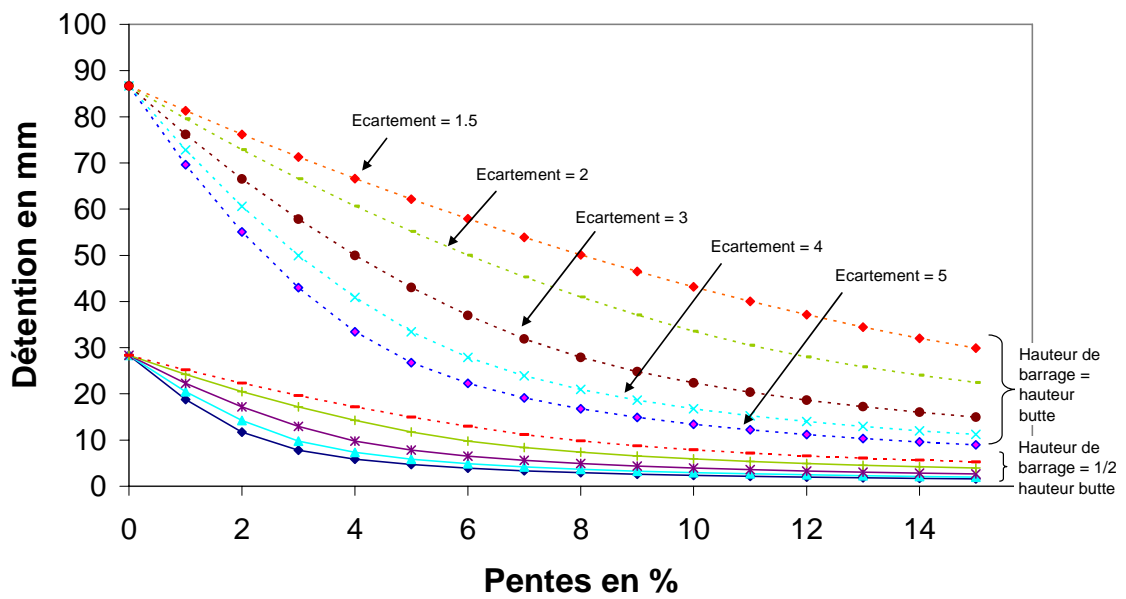


Figure 7 : Calcul des valeurs de détection (stockage d'eau en surface) en fonction de la hauteur des micro-barrages (égale à la hauteur ou à la moitié de la hauteur de la butte) et de leur écartement (en m) sur un rang de pomme de terre. Hauteur de la butte=20 cm. ([AP-11]).

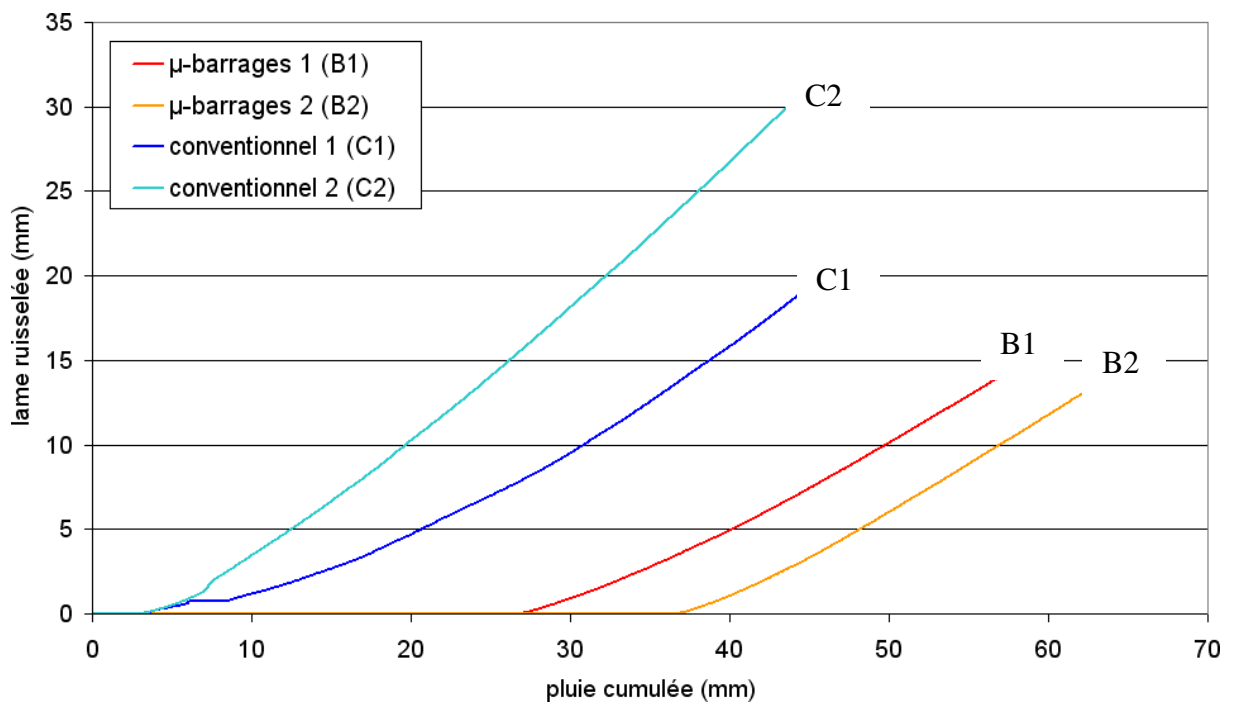


Figure 8 : Essai pomme de terre de 2005, lame ruisselée des entre-buttes compactées en fonction du cumul de pluie simulé. ([AP-11])

Pour cela, une fois le matériel retenu et mis en œuvre sur une parcelle, nous avons réalisé des relevés de la rugosité de surface à l'aide du rugosimètre électromécanique décrit plus haut. Nous avons ainsi pu calculer à l'aide de l'algorithme développé par Planchon et Darboux la lame d'eau potentiellement stockée par cette surface pour différents niveaux de pente (Planchon and Darboux, 2002). J'ai alors proposé une modélisation de la surface de pomme de terre en l'assimilant à des buttes de forme trapézoïdale. Partant de là, nous avons pu montrer que notre modèle simplifié rendait bien compte des stockages obtenus avec les surfaces réelles mesurées avec le rugosimètre. Ces mesures ont été complétées par des simulations de pluies conduites par l'AREAS ([AP-11]).

Le modèle de stockage trapézoïdal a permis de montrer (Figure 7) que le stockage intégral de 40 mm n'est possible que pour des micro-barrages de même hauteur que les buttes (20 cm) et pour des écartements inférieurs à 3 m, si l'on reste dans des niveaux de pente de parcelle inférieurs à 8%. Cette contrainte peut être forte pour les agriculteurs notamment au moment de la récolte où les micro-barrages peuvent gêner l'avancement de l'arracheuse.

Les simulations de pluie ont été réalisées sur des parcelles n'autorisant un stockage que d'une dizaine de mm d'après le modèle trapézoïdal. Toutefois, malgré des intensités de pluie voisines de la décennale (22 à 28 mm/h) le débordement des micro-barrages ne s'opère qu'à partir de 30 mm. Ceci montre que l'accroissement de la lame d'eau généré par les micro-barrages entraîne une augmentation de l'infiltration dans l'interbillon. Toutefois, afin d'éviter des risques de débordement des barrages un stockage de l'ordre d'une vingtaine de mm serait donc préférable. Cette valeur peut être atteinte avec des microbarrages d'une dizaine de cm de haut distants de 1 à 2 m. Ce type de microbarrage reste compatible avec les techniques actuelles de récolte.

Point d'étape : Après avoir effectué un tri parmi les techniques mises en œuvre en interculture, nous avons cherché à proposer des améliorations techniques pour les périodes de culture. Ceci a nécessité la conception de matériel spécifique, comme les augets de mesure du ruissellement, dont la production et la multiplication ont été intégrées au sein d'un réseau social d'expérimentateurs.

Cette recherche d'améliorations techniques conduite en collaboration avec les structures de développement agricoles s'est traduite dans le cas de la pomme de terre par la production d'un modèle simple de stockage d'eau en surface. Couplé avec des expérimentations sous pluies simulées ce modèle a permis de proposer une solution technique (micro-barrages) déclinée selon les conditions locales (pente, forme des buttes).

L'ensemble du travail réalisé sur les différentes cultures a fait l'objet de présentations débats avec les principaux intéressés (agriculteurs et conseillers agricoles). Une synthèse rédigée est aussi disponible sur internet²³ ([AP-10] ; [COM-SC12]).

3. Evaluation des systèmes de culture par rapport au ruissellement et l'érosion diffuse

Les chapitres précédents sur le diagnostic et la conception d'innovation techniques ont conduit à de nombreux résultats de terrain ainsi qu'à la notion de « trajectoires d'états ». Partant de ces acquis nous allons montrer ici comment nous avons pu produire des méthodes d'évaluation de l'effet des systèmes de culture sur le ruissellement et l'érosion

²³ http://www.rdrisques.org/projets/digetcob/bib/techniques_ruiss/groupe_ruiss/syntheses/

diffuse à la parcelle. Dans un premier temps nous présenterons les travaux qui ont cherché à relier les états du milieu et le niveau de ruissellement et de charge en terre. Dans un deuxième temps nous présenterons d'autres travaux qui entrent plus directement par les techniques culturales tout en se focalisant sur le ruissellement.

Relations entre états des parcelles et flux d'eau boueuse

Nous traiterons ci-dessous des deux composantes de l'érosion diffuse, à savoir le ruissellement et la charge solide des eaux ruisselées.

1. Etats à l'origine du ruissellement

Lors de nos expérimentations de terrain portant sur l'interculture, nous avons réalisé un suivi des états de surface des parcelles. Pour évaluer les déterminants du ruissellement, nous avons effectué une régression linéaire multiple entre le ruissellement et les variables d'état du sol et du climat²⁴. Notre approche avait ceci de particulier qu'elle intégrait une caractérisation des états structuraux de sub-surface. En effet, nous avons pu remarquer que des parcelles avec des états de surface comparables généraient toutefois des ruissellements différents, tout ne semblait pas pouvoir s'expliquer par les seuls états de surface, les tassements en profondeur pouvaient aussi intervenir. Le résultat de la régression linéaire multiple donné ci-dessous montre l'effet significatif des tassements de sub surface (COMP) sur la production de ruissellement ([ACT-01]).

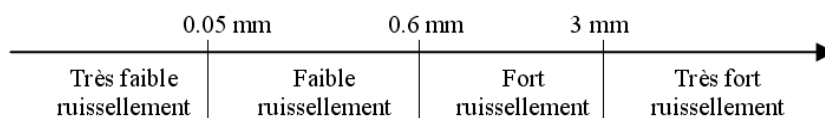
$$RUIS = 0.42 + 0.02*COMP - 0.20*TI - 0.01*VEG + 0.05*P + 0.53*I + 0.02*P-ETP_3$$

Régression calculée pour 778 données

Avec :

COMP: zones compactées (%); TI: indice de rugosité (%); VEG : couverture végétale du sol (%)
P : précipitations (mm) ; I : intensité moyenne de la pluie (mm/h), P-ETP₃ : P-ETP sur les 3 jours avant la pluie. Il est à noter que l'état d'encroutement de la surface n'est pas un critère qui a été retenu dans cette relation. Ceci n'est pas étonnant dans la mesure où toutes les parcelles intégrées dans l'analyse statistique avaient déjà développé une croûte et se différenciaient donc peu de ce point de vue.

La relation précédente a été utilisée pour qualifier chaque évènement pluvieux enregistré sur chaque parcelle (778 cas) selon 4 classes de ruissellement décrites dans la grille suivante :



Les limites fixées par cette grille dépendent directement du matériel utilisé qui ne permettait pas de mesurer du ruissellement au-delà de 3 mm par séquence pluvieuse (débordement des bacs au-delà) L'application de cette relation aux deux années d'essai montre qu'elle donne de bons résultats, non seulement pour 1993-1994, l'année pour laquelle elle a été calibrée, mais aussi pour 1994-1995 (Figure 9) ce qui lui confère un caractère prédictif et permet de la proposer comme un indicateur de risque de ruissellement.

²⁴ Pour cette analyse statistique nous avons pris en compte les cas de débordement de bac collecteurs de ruissellement. Une partie des données correspond à des valeurs « tronquée), connues par défaut (ruissellement supérieur ou égal au volume du bac). Il a donc fallu utiliser une procédure spéciale Lifereg sous SAS® qui ne permet pas le calcul de R².

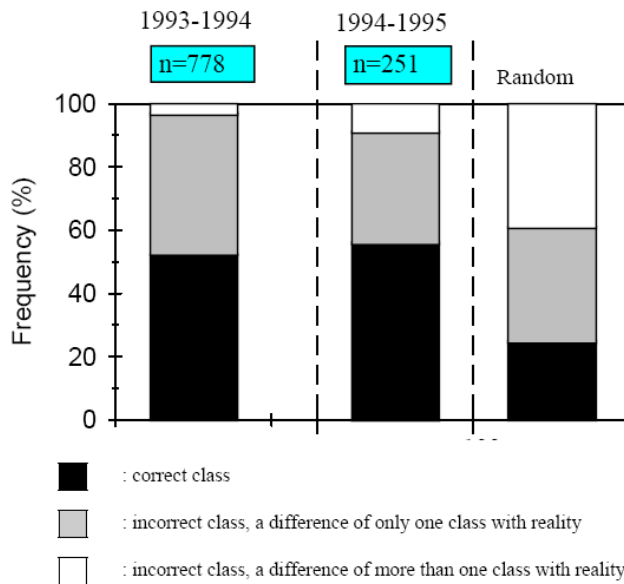


Figure 9 : Classement des évènements pluvieux des deux années d’essai effectués à l’aide de la relation linéaire établie sur les données de 1993-1994 et comparaison avec un classement aléatoire des évènements pluvieux selon les 4 classes prédéfinies.

Il ne faut pas perdre de vue que ce travail reste un travail statistique non directement basé sur des mécanismes hydrologiques ; sa portée est donc limitée. Il est ainsi fort probable que la relation établie ne donne pas des résultats aussi intéressants pour des évènements printaniers avec des intensités pluvieuses potentiellement plus importantes que ce que nous avons pu mesurer en automne-hiver.

Pour dépasser les limites de cette approche statistique du ruissellement, Cerdan et al., (2002), ont proposé un modèle plus mécaniste dans lequel le ruissellement dépend des pluies et des caractéristiques hydrologiques du sol (pluie d’imbibition et capacité d’infiltration) ; elles-mêmes reliées aux états de surface : degré de développement de la croûte, rugosité et couvert végétal. Cette approche a permis de conforter et de préciser le rôle des variables « rugosité », « couvert » et « pluie antérieure » mises en évidence dans la relation statistique.

2. Etats à l’origine de la charge solide

Afin d’estimer la charge solide, une Analyse en Composantes Principales a été conduite sur une base de données intégrant les résultats de terrain obtenus sur les parcelles de 20 m². Les résultats de cette ACP ont permis de proposer des valeurs de charge solide en fonction des états de surface des parcelles (rugosité, couvert, battance) et de l’intensité maximum des pluies calculée sur 6 minutes. La Figure 10 tirée de ([ACL-06]) montre le rôle important du couvert végétal dans la réduction de la charge solide sauf lorsque la rugosité est supérieure à 5 cm ou quand les pluies sont de faible intensité.

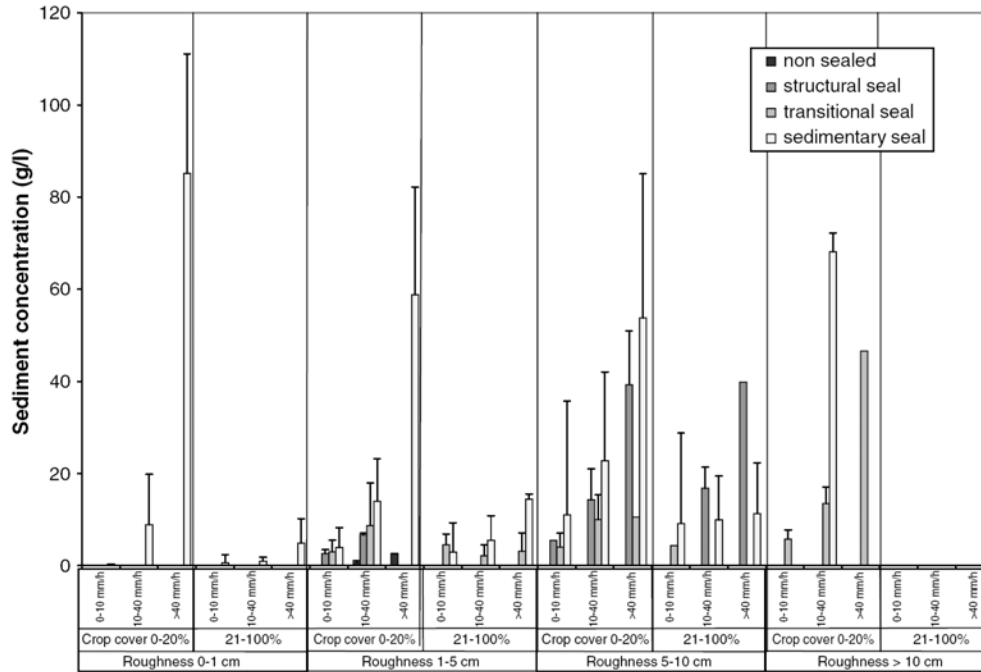


Figure 10 : Classification des concentrations moyennes en sédiments. Les barres d'erreur donnent les écarts types ([ACL-06]).

Relations entre systèmes de culture et ruissellement à la parcelle

Les relations statistiques et modèles présentés dans la partie précédente permettent de prévoir le ruissellement et la charge solide à un moment donné, pour peu qu'on ait accès aux données d'état du sol. Ce sont fondamentalement des modèles de recherche qui visent à organiser et accroître la connaissance qu'ont les chercheurs des phénomènes. Dans cette partie nous allons montrer comment nous avons été amenés à réfléchir à la mise en œuvre d'autres natures de modèles destinés à des acteurs de terrain souhaitant prendre des décisions sur les systèmes de culture compte tenu de leur impact sur le ruissellement. Le but est ici d'arriver à un classement relatif de situations bien identifiées d'un point de vue des successions de cultures et des itinéraires techniques mis en œuvre afin d'aider à la décision publique.

1. De la trajectoire d'états à la définition de classe de risque de ruissellement

La notion de trajectoire d'états présentée dans la partie diagnostic permet de proposer un outil de diagnostic simple sous forme de typologie des couples précédents suivants qui intègre à la fois le potentiel de ruissellement lié à l'état du sol généré par les travaux de récolte du précédent cultural, la durée de l'interculture et les possibilités effectives d'intervention pour remédier à ce ruissellement potentiel ([ACL-04] ;[ACL-10]).

Cette typologie en 4 classes est décrite dans l'encadré 2. La classe B est celle qui pose de fait le plus de problèmes car elle correspond à des situations très ruisselantes en hiver²⁵. A l'opposé, la classe C est la plus favorable à la maîtrise du ruissellement. Non seulement le ruissellement n'est pas des plus élevés après la récolte, mais il est encore possible de le réduire par des interventions culturales (déchaumage ou culture intermédiaire).

²⁵ Le réseau de mesure du ruissellement a montré qu'il était possible de limiter les risques de ruissellement grâce au recours aux outils de désherbage utilisés en agriculture biologique (houe rotative). La possibilité et le succès de cette intervention ne sont toutefois pas toujours assurés.

Encadré 2 : Maîtrise du ruissellement en interculture : typologie des couples précédent-suivant et possibilités de maîtrise du ruissellement (d'après [ACL-04])

1. Typologie des couples précédents-suivants

L'énoncé d'un couple précédent-suivant cultural renseigne sur :

- la position de l'interculture dans l'année climatique qui détermine les possibilités d'intervention en conditions bien ressuyées (gage d'une bonne résistance à la dégradation structurale par les pluies) ;
- le laps de temps pendant lequel on peut réaliser des interventions culturales ;
- la quantité de résidus végétaux laissés par le précédent, qui freinent le ruissellement et facilitent l'infiltration ;
- la proportion des traces de roues en surface après récolte, qui limitent l'infiltration et facilitent la concentration du ruissellement.

Sur la base de ces critères nous proposons quatre types d'intercultures :

- le type A comporte des précédents à récolte précoce avec résidus végétaux, laissant peu de traces de roues (blé, escourgeon, colza, pois) et des cultures d'hiver comme suivants (colza, blé, escourgeon) ;
- le type B correspond à des cultures dont les chantiers de récolte, réalisés tardivement, laissent sur le sol de nombreuses traces de roues et peu de résidus végétaux (lin, pomme de terre, maïs ensilage, betterave), suivies de cultures d'hiver (blé, escourgeon) ;
- le type C où se succèdent des cultures à récoltes précoces avec des résidus végétaux et peu de traces de roues (blé, escourgeon, colza, pois) et des cultures semées au printemps (pois, lin, betterave, pomme de terre, maïs ensilage) ;
- le type D qui comporte des précédents à récoltes tardives avec peu de résidus végétaux et beaucoup de traces de roues (lin, pomme de terre, maïs ensilage, betterave) suivis de cultures semées au printemps (pois, lin, betterave, pomme de terre, maïs ensilage).

2. Possibilités de maîtrise du ruissellement selon le type d'interculture

Type d'interculture	Exemple	Conditions hydriques		Possibilité		Résidus sur précédent cultural	Traces de roues sur précédent cultural	Classement (*)
		à la libération du précédent	au semis du suivant	de culture intermédiaire	d'intervention supplémentaire			
A	Blé-Esc	Sèches	Aléatoires	Non	Non	Fort	Faible	2
B	ME-Blé	Humides	Humides	Non	Non	Faible	Fort	4
C	Blé-Bett	Sèches	Aléatoires	Oui	Oui	Fort	Faible	1
D	ME-Bett	Humides	Aléatoires	Aléatoire	Oui	Faible	Fort	2

Légende : Bett = Betterave ; Esc = Escourgeon ; ME = Maïs ensilage (*) 1 = Bonne maîtrise du ruissellement ; 4 = Mauvaise maîtrise du ruissellement.

2. Quantification des risques de ruissellement liés aux successions de culture

La typologie présentée ci-dessus permet une première approche des risques de ruissellement liés aux systèmes de culture. Cette approche est toutefois limitée par le fait qu'elle reste purement qualitative, limitée à 4 classes, et qu'il est difficile de différencier des situations médianes (A et D par exemple) quant au risque de ruissellement qu'elles font courir. Par ailleurs cette typologie ne prend pas en compte l'effet du climat plus ou moins pluvieux qui peut moduler les classements.

Partant de là, j'ai souhaité développer un modèle de caractérisation quantitative des risques de ruissellement associés aux systèmes de culture selon différents scénarios climatiques. L'idée était de fournir un outil qui permette d'évaluer rapidement des systèmes de culture en place tout en pouvant tester d'éventuelles modifications de ces systèmes sur la base d'innovations testées sur le réseau de mesure du ruissellement.

Il existe de nombreux modèles de partage d'infiltration/ruissellement mais nombre d'entre eux sont des modèles physiques avec bien plus de paramètres que ce que nous avons pu voir dans nos équations de régression ou la grille d'infiltration proposé par Cerdan et al. (2002). Par ailleurs nous avons besoin d'un modèle qui intègre la spécificité des sols limoneux à savoir la réduction de la capacité d'infiltration du fait de la dégradation de la surface du sol. D'un autre côté, nous souhaitons aussi prendre en compte à moindre frais le rôle des tassements du sol. Ce cahier des charges nous a conduit à nous orienter vers l'approche du Soil Conservation Service américain qui relie le ruissellement à un niveau de pluie par une fonction qui ne dépend que d'un seul paramètre : le « curve number » (USDA-SCS, 1986). C'est là une approche empirique que nous avons calée en intégrant les connaissances expertes accumulées sur le rôle des états de surface ([ACL-17]).

Partant des mesures de ruissellement, effectuées avec les augets que nous avons mis au point, et des mesures de précipitation effectuées par pluviographe enregistreur, nous avons pu calculer pour chaque évènement ruisselant la valeur de curve number correspondante. L'analyse a d'abord été conduite sur une culture pour laquelle nous disposions de nombreuses données (blé d'hiver) en intégrant la période d'interculture qui suit la récolte de ce blé. En s'appuyant sur les trajectoires d'états présentées plus haut, nous avons ainsi pu proposer des valeurs de curve number pour chacune des étapes de la culture du blé et de l'interculture qui le suit. Un travail équivalent a été conduit pour des cultures de printemps comme la betterave et la pomme de terre pour lesquelles nous disposions de mesures de ruissellement. Pour les cultures n'ayant pas fait l'objet de mesures sur le réseau, nous avons extrapolé les valeurs de curve-number sur la base de la similitude des états des parcelles, comme proposé dans le Tableau 2.

Il est à signaler que pour simplifier notre modèle, nous n'avons pas intégré de différence de valeurs de curve number en fonction de l'état hydrique de la parcelle au moment de la pluie. L'intérêt de cet état hydrique, avait pourtant été montré dans nos travaux antérieurs (Figure 9) et est utilisé dans l'approche développée par Cerdan *et al.* (2002).²⁶

Malgré cette simplification importante, nous avons pu montrer grâce à des jeux de données indépendants que l'approche « curve number » pouvait donner de meilleurs résultats que ceux obtenus par la grille proposée par Cerdan et al. (2002) ([ACL-17]). Ce jugement doit toutefois être modulé par le fait que le jeu de données concernait des évènements pluvieux d'hiver, période pendant laquelle le sol reste globalement humide.

²⁶ L'état hydrique a été estimé par le bilan hydrique (P-ETP) sur les 3 jours précédant la pluie dans nos travaux et par la pluie sur les deux derniers jours pour Cerdan et al.

L'effet des pluies antécédentes est alors moins marqué que pour des événements de printemps où l'humidité du sol peut varier fortement d'une séquence pluvieuse à l'autre.

Point d'étape : Après avoir cherché à concevoir des innovations techniques pour réduire le ruissellement à la parcelle, il importait de proposer des outils permettant d'évaluer l'effet des pratiques sur le ruissellement et la charge solide, et mesurer ainsi le gain possible avec un changement de pratiques. Une première approche a consisté à travailler les relations entre états des parcelles, caractéristiques des pluies et flux de matière (ruissellement et charge solide). Cette approche a permis d'agrèger dans des modèles de recherche les connaissances acquises sur les déterminants des mécanismes bio-physiques. Elle permet plus difficilement d'évaluer des systèmes de culture. Pour pallier cette limite, nous avons proposé des méthodes d'évaluation plus directe des systèmes de culture par rapport au ruissellement. Après une méthode d'évaluation qualitative, basée sur une typologie des couples précédent-suivant, nous avons proposé une méthode plus quantitative, basée sur les « curve numbers » qui reste attachée à la notion de trajectoire d'états tout en intégrant l'effet du climat dans la production de ruissellement.

4. De la parcelle au bassin versant

Les travaux précédents illustrent la manière dont nous avons pu caractériser la dynamique de production de ruissellement et d'érosion diffuse à la parcelle. Il ne faut toutefois pas perdre de vue que, dans le contexte des plaines limoneuses du Nord-ouest de l'Europe, c'est avant tout l'érosion par concentration du ruissellement qui prédomine. Le ruissellement issu d'une parcelle va être dirigé par un réseau de collecteurs pour en éroder une autre plus en aval. Il importe donc de ne pas se limiter à une approche à la parcelle mais de chercher à intégrer les connaissances au niveau de l'espace hydrologique fonctionnel que constitue le petit bassin versant agricole. Nous allons donc maintenant chercher à voir comment analyser les dynamiques temporelles à des échelles supérieures à la parcelle agricole.

Dynamique spatiale et temporelle des états de surface au niveau du bassin versant

Les flux érosifs en sortie de bassin versant dépendent des mosaïques d'états de surface représentés dans ce bassin. Dans cette logique, en s'appuyant sur de nombreux suivis de terrain (notamment ceux menés sur les sites de Blossesville et de Fongueusemare), nous avons pu mettre en évidence les gammes de combinaison d'états les plus fréquentes dans le Pays de Caux ([ACL-12]). On montre ainsi (Figure 11) que les risques de ruissellement érosif s'expliquent en grande partie par la prédominance dans les bassins versants agricoles d'états globalement encroûtés, avec une faible rugosité de surface et des couverts peu développés sur une grande partie de l'année notamment en automne-hiver et printemps. Ces résultats confirment en les quantifiant les idées avancées dès les années 90 par Papy et Douyer (1991).

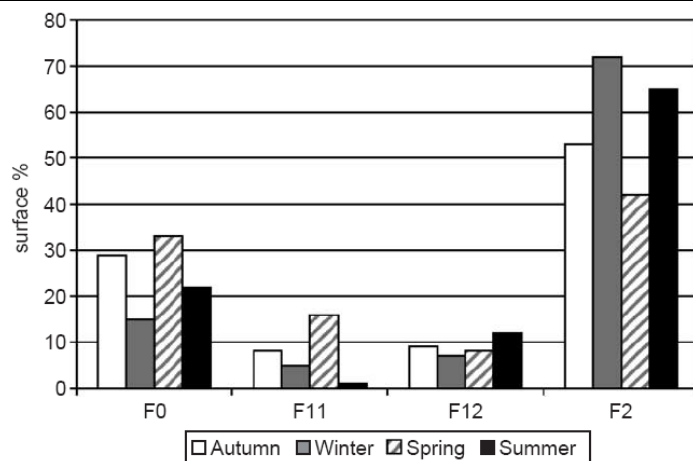


Fig. 1. Distribution of the surface crusting stages for the whole set of observations as expressed in surface percentage for each season. F0: Initial fragmentary structure, all particles are clearly distinguishable; F11: altered fragmentary state with structural seal; F12: local appearance of depositional seal; F2: continuous state with depositional seal.

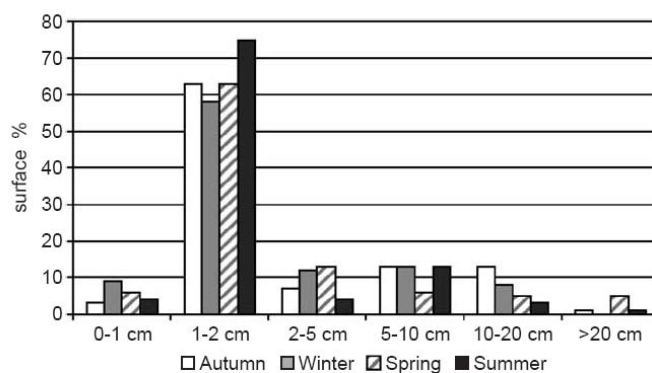


Fig. 2. Distribution of the roughness classes for the whole set of observations as expressed in surface percentage for each season.

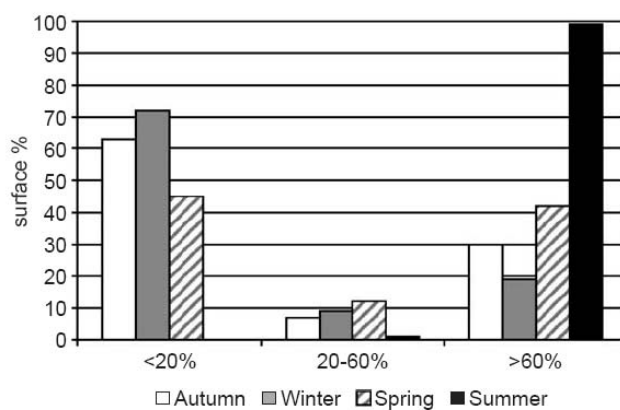


Fig. 3. Distribution of the vegetation cover classes for the whole set of observations as expressed in surface percentage for each season.

Figure 11 : Analyse par saison des principaux paramètres d'états de surface sur les bassins versants du Pays de Caux ((ACL-12))

Conséquences des dynamiques d'états sur le ruissellement au niveau du bassin versant

L'approche statistique présentée ci-dessus permet de repérer les périodes à risque, mais ne rend pas compte des mécanismes réellement en œuvre dans les bassins versants. En effet, les résultats de ruissellement et de charge solide de l'encadré 1 montrent que le ruissellement en sortie de bassin versant est inférieur à ce qu'on peut avoir au niveau d'une parcelle élémentaire de 500 m² alors même que les états sont les mêmes (surface nue encroûtée). Ceci indique, qu'au niveau du bassin versant, d'autres mécanismes interviennent pour faciliter les absorptions de ruissellement entre leur lieu de production et l'exutoire.

C'est pour rendre compte de ces mécanismes que plusieurs modèles de ruissellement érosion ont été développés ces dernières années (Nearing *et al.*, 2003; Jetten and FavisMortlock, 2006). Notre propos n'est pas de faire un comparatif de ces différents modèles, mais de présenter la manière dont nous avons utilisé l'un d'eux STREAM pour caractériser l'évolution des risques de ruissellement au cours du temps à l'échelle du bassin versant.

STREAM est un modèle spatialisé simulant le ruissellement et l'érosion en contexte agricole. Il calcule le flux total pour un évènement pluvieux complet. Ce n'est pas un modèle dynamique au sens où il ne prend pas en compte des pas de temps inférieurs à la durée totale de la pluie. STREAM résulte des travaux de recherche issus de la collaboration entre l'UMR SAD APT (V. Souchère) et l'INRA Sciences du sol d'Orléans (Y. Le Bissonnais). STREAM a été conçu pour n'avoir que peu de paramètres en entrée et des paramètres facilement mesurables ou estimables. Il a pour autre originalité de prendre en compte les directions de travail du sol pour simuler le réseau d'écoulement qui ne dépend donc pas uniquement de la topographie du bassin versant. STREAM fonctionne sous le SIG ArcView ®. Il est programmé selon une structure en modules (ruissellement, érosion, réseau d'écoulement, etc.). La Figure 12 rappelle la structure du module ruissellement dont le principe a déjà été présenté dans la partie 3.

Nous avons montré que les systèmes de culture généraient des trajectoires d'états dont résultaient des variations de sensibilité au ruissellement. Une évaluation de l'effet des systèmes de culture au niveau du bassin versant implique d'intégrer cette dynamique temporelle. Il se trouve que STREAM n'est actuellement pas en mesure de traiter directement cette dynamique puisqu'il fonctionne pour des évènements pluvieux uniques. Pour résoudre ce problème, dans le cadre de la thèse d'A. Joannon ([THES-01]), nous avons choisi d'appliquer STREAM à deux dates clés : fin décembre et mi mai. Ces deux dates correspondent d'une part à des périodes de risque de ruissellement et d'autre part à des dates où les états de surface des parcelles agricoles sont relativement bien connus. Ce choix limite les incertitudes sur les entrées et donc aussi sur les sorties du modèle. La détermination des périodes de stabilité a été établie en reprenant la base de données utilisée par Le Bissonnais *et al.* ([ACL-12]) et conduisant une analyse culture par culture avec un découpage en séquences temporelles (Figure 13).

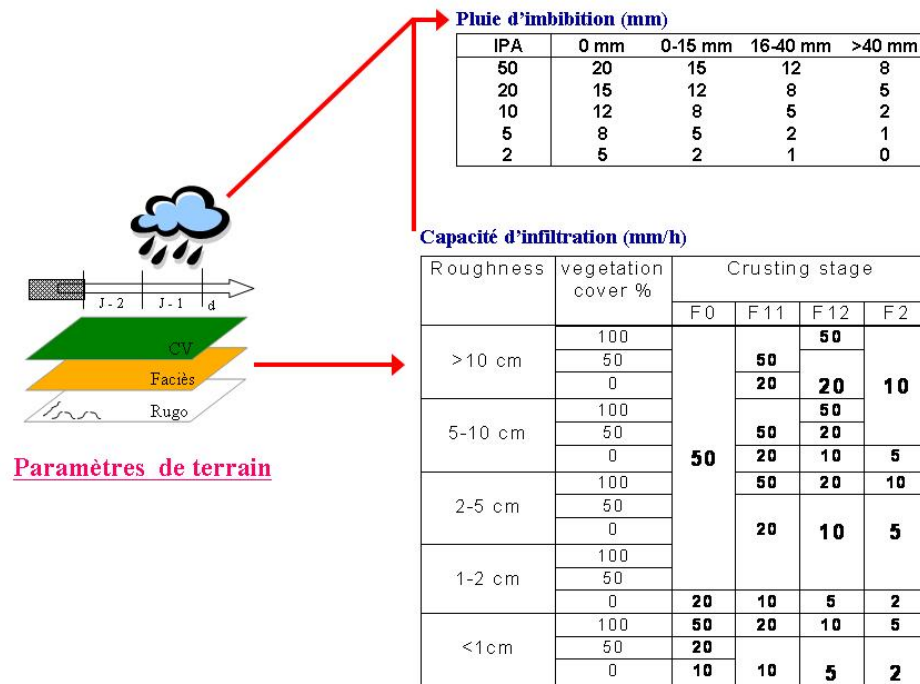


Figure 12 : Présentation du module ruissellement de STREAM d'après Souchère, (2009). Les états de surface déterminent une capacité d'infiltration. A cette capacité d'infiltration est associée une pluie d'imbibition variable en fonction du cumul des précipitations sur les 2 jours précédant la pluie (caractérisée par sa durée et sa quantité). Un état de surface ne produit du ruissellement que si la pluie est supérieure à la somme de la pluie d'imbibition et de la capacité d'infiltration multipliée par la durée de la pluie.

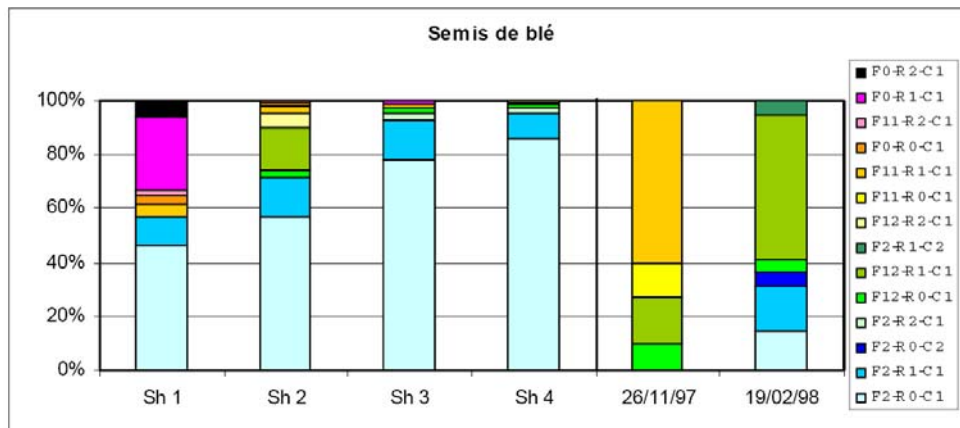


Figure 13 : Variabilité des états de surface constatés pour les parcelles semées en blé à l'automne. Sh1=début novembre, Sh2=début décembre, Sh3=fin décembre, Sh4=mi janvier. (4 années de suivi de 300 à 900 observations pour chaque Shi).

Cette figure tirée de Joannon ([THES-01]) présente, à titre d'illustration, les résultats obtenus pour le blé et montre que les états de surface tendent généralement à se stabiliser courant décembre pour cette culture. A cette date la majorité des surfaces présente une très faible rugosité (R0), une croûte de battance généralisée (F2) et un faible couvert (C1). Cette figure montre aussi que certaines années les états moyens peuvent être beaucoup moins dégradés (97-98) du fait, pour cette année, de semis plus tardifs n'ayant pas conduits à une dégradation très poussée de la surface.

En mettant en œuvre ces principes sur le bassin de Bourville (Seine-Maritime), Joannon ([THES-01]) a pu montrer que le même évènement pluvieux appliqué aux configurations d'automne et de printemps de plusieurs années successives de culture pouvait générer des variations de ruissellement non négligeables à l'exutoire du bassin versant. La Figure 14 montre ainsi que le ruissellement hivernal est supérieur au ruissellement printanier. Ce dernier se caractérisant par une plus forte variabilité inter-annuelle qu'en hiver.

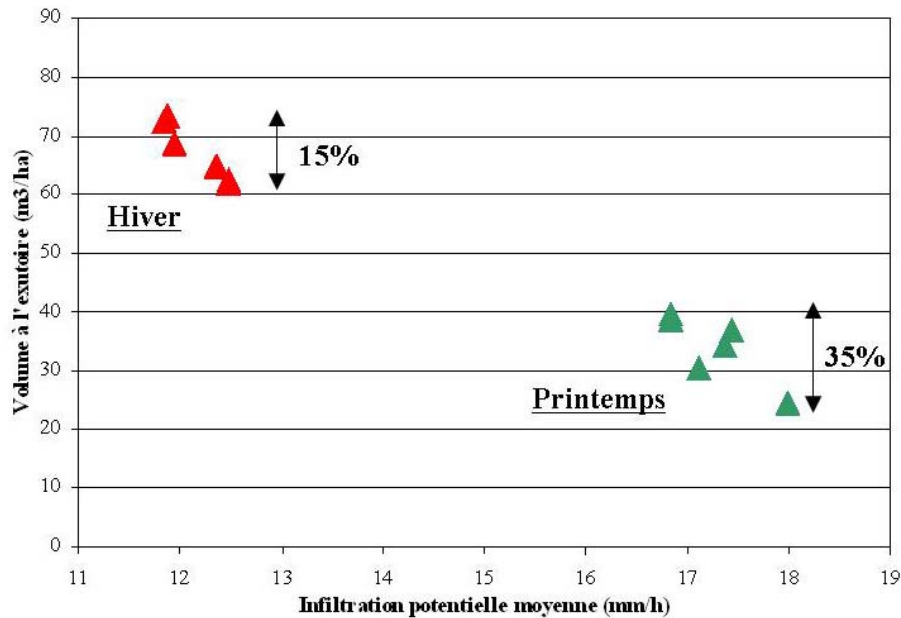


Figure 14 : Effets de la variabilité inter-saison et inter-annuelle des états de surface sur le ruissellement à l'échelle du bassin versant de Bourville (1086 ha) sur la période 1996-2001. Caractéristiques de l'évènement pluvieux utilisé avec STREAM : 22 mm en 2h19 et 37,2 mm sur les dernières 48 h ([THES-01]).

Liens entre dynamiques de ruissellement et systèmes de culture au niveau du bassin versant

L'approche par les états de surface, présentée ci-dessus, permet une intégration des phénomènes hydrologiques au niveau du bassin versant. Elle a cependant deux limites importantes :

1. la dimension temporelle n'est pas réellement traitée. Les états attribués aux parcelles en fonction des occupations du sol et des techniques mises en œuvre sont des états moyens qui ne tiennent pas compte des scénarios climatiques particuliers de certaines années (cf. situation de 97-98 sur la Figure 13).
2. on perd une certaine visibilité sur l'effet des systèmes de culture sur le ruissellement sur de grands ensembles de type bassin versant. Chaque bassin devient un cas particulier duquel on peut retirer le poids d'une combinaison de systèmes de culture mais qui ne permet pas de comparer les effets des systèmes de culture toutes choses égales par ailleurs. La seule approche bassin versant interdit aussi d'avoir une indication de la pression exercée par une exploitation (vue comme un ensemble de systèmes de culture) sur le ruissellement puisque cette pression sera toujours considérée comme dépendante de ce que feront les autres agriculteurs exploitant le même bassin.

Partant de ces deux constats, nous avons formalisé les principes présentés dans la 3^{ème} partie (Quantification des risques de ruissellement liés aux successions de culture) sous forme d'un modèle informatique intitulé DIAR (Diagnostic Agronomique du Ruissellement) ([ACL-17]; [SOUMIS-01]). DIAR permet d'affecter à chaque parcelle d'un bassin versant les systèmes de culture mis en œuvre une année donnée. Par système de culture on entend la succession de cultures (couple précédent suivant) ainsi que l'itinéraire technique simplifié pour ne retenir que les techniques jouant sur les états de surface (travail du sol et récolte). On crée ainsi des situations culturelles c'est-à-dire un état à la date T résultant de l'application d'une technique culturale sur un état à la date T-1. A chacune des situations culturelles ainsi créée est associée une réponse hydrologique exprimée par une valeur de curve number. Ces valeurs de curve number évoluent elles-mêmes sous l'action dégradante des cumuls de pluies ou de la protection assurée par le développement des couverts végétaux. Il est alors possible, sur la base d'informations de pluies quotidiennes de modéliser le ruissellement généré par chaque surface homogène du bassin versant. A ce stade le ruissellement est exprimé en mm/ha. La prise en compte des surfaces de chaque système de culture permet de traduire ces mm/ha en m^3 . Cette transformation permet, à l'échelle du bassin versant, de connaître la contribution de chaque système de culture au ruissellement global en sortie de parcelle. C'est donc un indicateur de la pression de ruissellement exercée par les différents systèmes de culture. L'information quotidienne générée par DIAR est agrégée par décade pour faciliter la lecture et l'interprétation des sorties du modèle. Elle peut aussi être ramenée à des mm/ha de bassin versant pour pouvoir comparer différents sites entre eux.

Les Figure 15 et Figure 16 illustrent le type d'information qui peut être obtenue avec DIAR ([SOUMIS-01]). Les données utilisées sont celles de Bourville que nous avons déjà présentées. Sur la Figure 15 on retrouve les pics de ruissellement hivernaux et printanier avec un ruissellement hivernal plus marqué qu'au printemps, ce qui est convergent avec ce que Joannon avait trouvé avec STREAM (Figure 14). Cette figure donne aussi la part des différents couples précédents suivant dans le ruissellement. On voit notamment que les surfaces permettant l'implantation d'une culture intermédiaire (Summer-Spring) correspondent environ à 30% du ruissellement hivernal. La Figure 16 montre que l'implantation de 217 ha de cultures intermédiaires permet de réduire le ruissellement hivernal de 20% tout en précisant la période d'efficacité qui se termine avec les derniers semis de culture de printemps.

Dans l'approche très réductrice du bassin versant développée pour DIAR, tout fonctionne comme si le ruissellement émis par chaque surface était directement transmis à l'exutoire du bassin versant. Les valeurs obtenues pour le ruissellement sont donc des valeurs par excès qui ne tiennent pas compte des possibilités de réabsorption en aval de ruissellement émis plus en amont. Ceci tient au fait qu'on cherche avant tout à cerner la variabilité temporelle de l'impact des systèmes de culture sur le ruissellement : périodes de ruissellement dans l'année ; évolution de la part des différents systèmes de culture dans le ruissellement global et qu'on accepte de perdre pour ce faire l'information sur les conséquences de leur localisation spatiale globale dans le bassin versant.

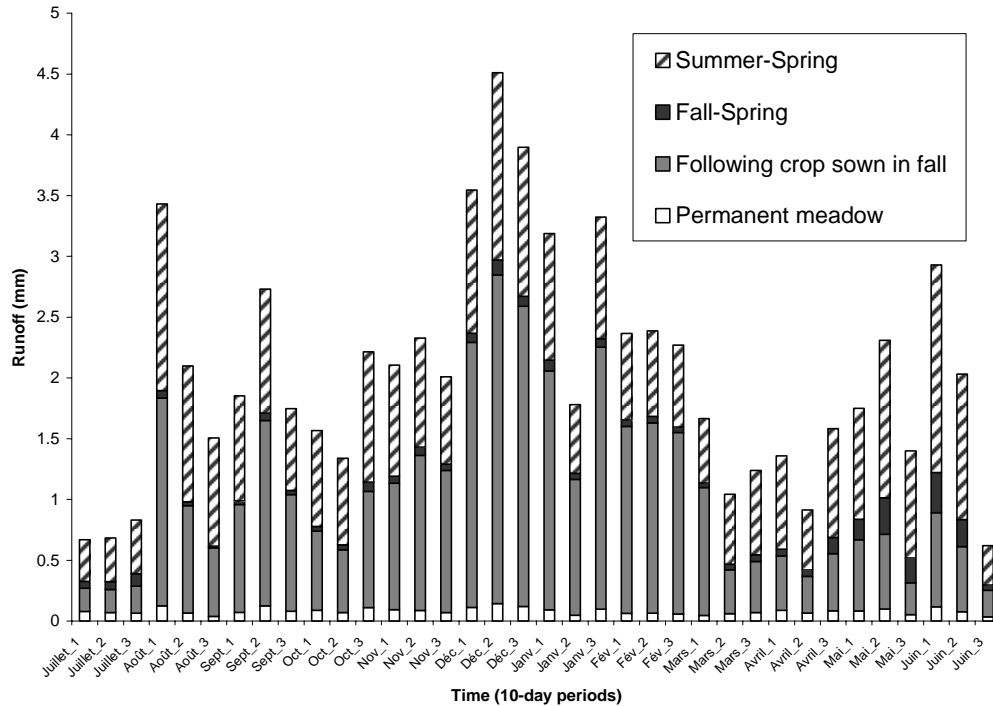


Figure 15 : Ruissellement décadaire moyen calculé avec DIAR pour le site de Bourville (912 ha), pratiques et assolement 2001-2002. Les moyennes sont calculées pour 10 années climatiques (1991-1992 à 2000-2001) pour la station de St Valéry en Caux. Répartition selon les groupes de précédent-suivant. “Summer-Spring” : récolte du précédent en été et semis du suivant au printemps, “Fall-spring” : récolte du précédent en automne et semis du suivant au printemps.

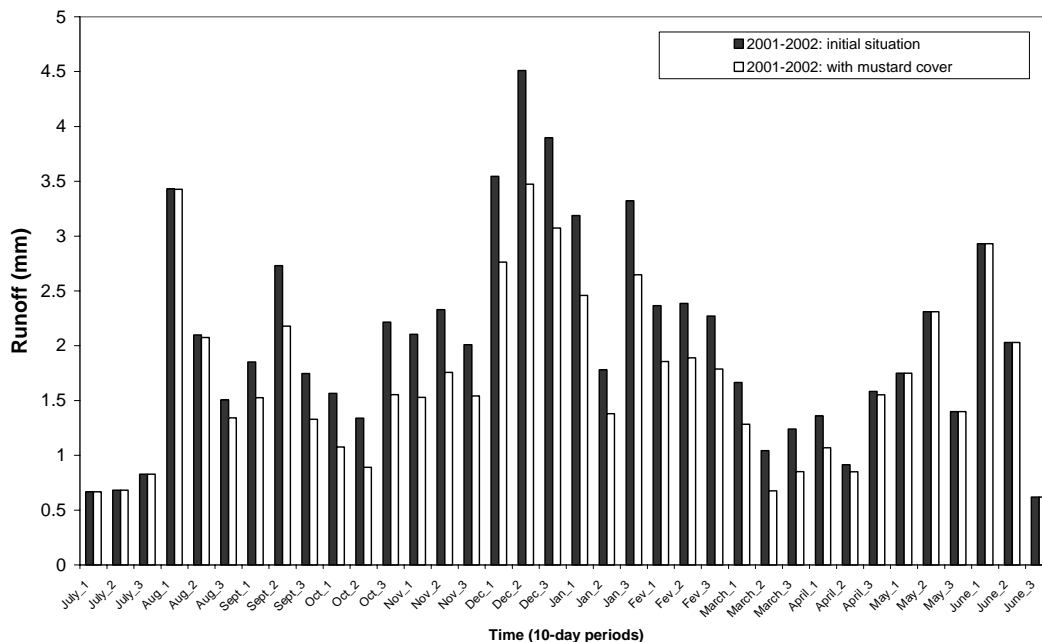


Figure 16 : Ruissellement décadaire moyen calculé avec DIAR pour le site de Bourville (912 ha) ; comparaison entre les pratiques actuelles (assolement 2001-2002) et l’introduction de 217 ha supplémentaires de cultures intermédiaires de moutarde. Moyenne de 10 années de scénarios climatiques (1991-1992 à 2000-2001) pour la station de St Valéry en Caux.

Point d'étape : Les outils d'évaluation du ruissellement à la parcelle présentés dans la partie précédente ont été mobilisés dans deux modèles (STREAM et DIAR) pour amener au niveau du bassin versant notre réflexion sur les dynamiques temporelles de ruissellement générées par les systèmes de culture. Ces deux modèles ont des statuts différents dans notre travail de recherche. Nous sommes utilisateur de STREAM et concepteurs de DIAR. Nous avons montré que STREAM, permettait de bien rendre compte de l'organisation spatiale des systèmes de culture sur le ruissellement. Les dynamiques temporelles étant plus difficiles à établir dans l'état actuel du modèle. De son côté, DIAR a été conçu pour une prise en compte explicite des dynamiques temporelles en renonçant volontairement à la dimension spatiale. L'utilisation conjointe de ces deux modèles constitue une piste intéressante pour avoir une vision dans le temps et dans l'espace de l'effet des systèmes de culture sur le ruissellement.

Le passage au bassin versant permet aussi de mesurer que l'efficacité des solutions à la parcelle peut être très relative quand on les transpose au niveau du bassin versant. Nous avons ainsi montré que malgré leur intérêt pour la réduction du ruissellement, les cultures intermédiaires ne peuvent être implantées qu'après des récoltes précoces en été et avant des semis de printemps (« Summer-Spring » de la Figure 15=type C de l'encadré 2). L'efficacité d'une introduction de cultures intermédiaires dépendra donc directement de la proportion de surface de type « Summer-Spring » dans le bassin versant en question. Si cette proportion est faible d'autres voies devront être explorées comme la réduction du ruissellement sur les céréales d'hiver.

5. Conclusion sur la construction d'outils pour l'action sur le ruissellement à pas de temps courts

A ce stade de notre réflexion, il nous semble important de faire le point sur les principaux acquis de notre travail tout en en discutant les limites et prolongations possibles.

Les acquis

Notre travail a permis de hiérarchiser les états du sol conditionnant la production de ruissellement et d'érosion. Ceci a pu nécessiter des développements météorologiques notamment pour le suivi du ruissellement en continu ou la mesure de la rugosité. Les expérimentations que nous avons conduites ont permis d'effectuer un tri parmi les pratiques rencontrées en interculture et de développer des innovations techniques en période de culture. Ce développement a pu s'accompagner d'une démarche de modélisation permettant de préciser les conditions d'efficacité des techniques (cf. micro-barrages sur pomme de terre).

En combinant résultats expérimentaux et suivis de parcelles d'agriculteurs, nous avons pu proposer 6 états de référence qui, organisés en trajectoires d'états rendent compte des dynamiques de ruissellement et d'érosion diffuse constatées sur les systèmes de culture du Pays de Caux. En nous appuyant sur ces trajectoires d'état, nous avons pu proposer une typologie des couples culture précédente-culture suivante qui rend compte des risques de ruissellement encourus et aux possibilités d'y remédier. Cette approche conceptuelle s'est traduite par une démarche de modélisation de l'effet des systèmes de culture sur le ruissellement qui a abouti au modèle DIAR.

Les travaux menés à l'échelle de la parcelle agricole ont fait l'objet d'une réflexion complémentaire pour leur transfert à l'échelle du bassin versant. Nous avons montré qu'une prise en compte correcte des mécanismes spécifiques à l'échelle bassin versant

(concentration du ruissellement/réinfiltration) et la réflexion sur la dynamique du ruissellement généré par les systèmes de culture nécessitait l'utilisation de modèles différents (STREAM et DIAR). Nous avons illustré l'utilisation qui pouvait être faite de ces deux modèles sur le site de Bourville retenu pour la thèse d'A. Joannon.

Discussion

Dans notre travail nous sommes passés d'une approche où les états de surface sont le terme de passage entre pratique agricole et ruissellement à une approche de type « boîte noire » où l'on relie plus directement pratiques agricoles et ruissellement. Cela ne veut pas dire que les états du sol sont devenus inutiles, bien au contraire. La démarche que nous avons adoptée pour l'établissement de la base de référence de DIAR s'appuie directement sur les trajectoires d'états : les seuils de cumul de pluie utilisés pour changer de valeur de curve number sont ceux constatés pour faire évoluer les surfaces vers un faciès de plus en plus fermé. Par ailleurs, les situations culturales qui n'ont pas fait l'objet d'expérimentations sont replacées par rapport aux autres situations culturales sur la base des états du sol qu'elles génèrent.

Les dynamiques d'états de surface peuvent fortement différer d'une région à une autre au point de générer des inversions de classement de risques de coulée boueuse associés aux cultures. En comparant les situations du Pays de Caux et des coteaux du Lauragais, nous avons pu montrer que le rôle joué par la culture du blé était radicalement différent dans les deux régions. Dans le Pays de Caux, ainsi que nous l'avons vu, le blé est une culture qui après son semis génère rapidement des surfaces ruisselantes. Dans les coteaux du Lauragais, un régime de pluie moins marqué à l'automne et des sols de texture plus argileuse font que les semis en blé évoluent rarement vers des surfaces ruisselantes ([COM-SC-02]). Pour corriger ce risque de « contresens », nous avons intégré dans la dernière version de DIAR l'effet des types de sol sur la vitesse de dégradation de la surface en nous appuyant sur les références de Ludwig (1992).

Au-delà du domaine de validité des modèles produits se pose la question des thématiques abordées dans nos travaux. Toute notre attention a été focalisée sur la maîtrise des phénomènes érosifs générés par les systèmes de culture. Or il n'est plus possible à l'heure actuelle de ne caractériser les effets des systèmes de culture que par rapport à une seule thématique même si elle est très prégnante dans la région d'étude. Par exemple, il est clair que les techniques mises en œuvre en interculture vont avoir des conséquences directes sur les risques de lessivage des nitrates. Le recours au déchaumage à soc, qui permet de limiter fortement le ruissellement, pose problème dans la mesure où l'accroissement de minéralisation générée par le travail du sol et l'absence de couvert végétal constituent autant de risques d'accroissement du lessivage des nitrates. Le recours aux cultures intermédiaires apparaît comme un meilleur compromis car il va aussi permettre de limiter les fuites de nitrates vers les nappes phréatiques. Il ne faut cependant pas que la destruction, majoritairement chimique, de ces cultures intermédiaires ne génèrent des risques de pollution diffuse par les phyto sanitaires. Cette question devient d'autant plus brûlante que le glyphosate et ses produits de dégradation sont à l'origine de classement en mauvaise qualité de nombreuses eaux de surface (IFEN, 2007).

Nous avons souhaité ancrer notre travail sur les dynamiques temporelles liant systèmes de culture et flux érosif. De fait nous nous sommes limités à des pas de temps courts voire très courts ne dépassant pas la succession de culture. Ces pas de temps sont importants mais ne rendent pas compte de l'ensemble des phénomènes mis en cause par les pratiques culturales. Bresson et Boiffin (1990) ont bien montré le rôle des techniques à long terme

sur l'évolution de la stabilité structurale et la résistance au ruissellement. L'historique des parcelles (ancienne prairies) et l'entretien organique et calcique des sols sont notamment concernés. Depuis les années 1970, on note une diminution des surfaces en prairies (Vivier and Douyer, 1984) qui correspond à une réduction des élevages. Ceci se traduit immédiatement par une diminution des apports de fumier et une diminution progressive de la stabilité structurale des surfaces de prairie retournées (Le Villio *et al.*, 2001; INRA, 2002). Un travail récent d'étudiant que j'ai encadré ([MEM-35]) a montré que ces dynamiques générales étaient à moduler d'un canton à l'autre du Pays de Caux indiquant ainsi qu'il pourrait y avoir des dynamiques spatiale (échelle régionale) différenciées d'évolution à long terme des caractéristiques des sols.

B. Conception et utilisation de trajectoires d'états de longue durée : systèmes cocotiers en Mélanésie

Dans notre première partie sur les temps courts, nous avons montré l'intérêt de la notion de trajectoire d'états pour diagnostiquer l'effet des systèmes de culture et orienter la recherche d'amélioration de ces systèmes. Nous avons aussi montré les limites de notre travail sur l'érosion. Nous sommes notamment restés sur des dynamiques temporelles limitées à de courtes périodes ne dépassant pas les quelques années d'une succession de culture et empêchant la prise en compte d'autres phénomènes. Une autre limite était que nous n'avons pas pris en compte des dynamiques territoriales comme l'évolution différenciée de zones de disparition ou de concentration de l'élevage qui peuvent orienter l'évolution des états des parcelles. Dans cette partie nous allons illustrer le caractère générique de la notion de trajectoire d'état tout en montrant comment, sur une autre thématique, nous avons été amené à travailler sur des pas de temps plus longs (plusieurs dizaines d'années) tout en nous intéressant plus directement à la structuration spatiale des états du milieu à l'échelon régional. Cette partie s'appuie sur le travail que j'ai mené en lien avec le CIRAD dans le cadre de la thèse de N. Lamanda ([THES-02]).

1. Caractérisation du territoire « cocotier » et de sa dynamique d'évolution

Dans les îles du nord de l'archipel du Vanuatu (Mélanésie), où les cocoteraies se développent depuis le début du XXe siècle, le coprah représente la première source de revenu monétaire pour les populations rurales. Depuis une dizaine d'années, la baisse des cours mondiaux du coprah, l'augmentation de la pression démographique et des importations alimentaires entraînent une baisse du revenu des producteurs de coprah et des inquiétudes vis-à-vis de la sécurité alimentaire du pays. Paysans et organismes de développement sont aujourd'hui à la recherche de nouveaux équilibres agraires où rentabilité économique et durabilité écologique doivent être combinées.

Depuis plusieurs siècles, le système traditionnel mélanésien est un système horticole sur brûlis avec de longues périodes de jachères arborées (Bonnemaison, 1996). Il fonctionne selon un processus d'agriculture semi-itinérante, le jardin revenant à chaque décennie environ sur la même parcelle après un parcours sur une superficie définie et limitée. Le système de production traditionnel comprend, en plus des jardins vivriers où sont essentiellement cultivés des racines et tubercules à multiplication végétative, l'élevage de cochons et l'arboriculture fruitière. Le cocotier est intégré à l'arboriculture fruitière parmi bien d'autres espèces (manguiers, arbres à noix...). Les utilisations traditionnelles du cocotier sont variées : autoconsommation (eau, lait), rituelles (échange de noix au cours de cérémonies coutumières), artisanat (palmes pour la confection de nattes), etc. Ce système

a été progressivement et profondément bouleversé avec l'installation des cocoteraies dédiées à la production de coprah (Bonnemaison, 1974; Weightman, 1989). Certains auteurs considèrent que ces cocoteraies tendent à accaparer l'espace insulaire aux dépens des cultures vivrières générées par les jardins (Bonnemaison, 1996). La question se pose alors de savoir comment ré-intégrer les jardins dans les cocoteraies.

Partant de ce constat, nous avons souhaité préciser les relations spatiales et temporelles entre jardins et cocoteraies. En d'autres termes, nous avons cherché (1) à préciser quelles étaient réellement les dynamiques de développement des cocoteraies au niveau d'une des îles de l'archipel en repérant des zones de dynamique homogène (2) à repérer au sein des zones identifiées les différents systèmes de culture à base de cocotiers (3) à préciser les dynamiques d'utilisation des ressources sol et lumière dans ces systèmes de culture pour repérer les possibilités spatiales et temporelles d'intégration de jardins dans les cocoteraies. Ce travail a été réalisé sur Malo, une des 80 îles composant l'archipel du Vanuatu.

Un zonage à dire d'acteurs pour capter la diversité des cocoteraies

Le cocotier est une plante qui peut produire pendant près d'une centaine d'années. Les cocoteraies présentes actuellement résultent de vagues de plantation dont certaines remontent aux premières décennies du 20^{ème} siècle. La connaissance de ces vagues de plantation permet d'envisager une étude plus poussée et structurée des peuplements cocotiers.

La mise en évidence de l'organisation de la cocoteraie à l'échelle de l'île de Malo se heurte à l'absence de statistiques et de cartographies détaillées sur la longue période considérée (une centaine d'années). Pour dépasser cette limite, N. Lamanda a mis en œuvre un zonage à dire d'acteurs (Caron, 1997). L'ensemble des informations (bibliographiques et cartographiques) relatives au milieu physique et humain disponibles auprès des structures locales a été tout d'abord regroupé, analysé puis compilé pour synthétiser les grandes phases de l'histoire agraire de l'île de Malo et plus particulièrement le processus d'implantation des cocoteraies. Le savoir de personnes ressources, choisies pour leur connaissance de l'histoire de l'île, a ensuite été mobilisé au cours d'entretiens guidés avec support cartographique (carte au 1/50 000 de Malo) afin de corroborer et spatialiser les étapes du développement des cocoteraies sur Malo.

Différents contextes de production au sein de l'île ont alors été identifiés et localisés à partir du regroupement des informations. La caractérisation de zones considérées comme homogènes vis-à-vis de facteurs humain et physique a ensuite été validée par des observations de terrain ainsi que par les personnes ressources auxquelles elle a été présentée au cours d'un nouvel entretien. Le processus d'implantation des cocoteraies sur Malo ainsi que la localisation des différents contextes de production qui en résulte ont été schématisés (Figure 17).

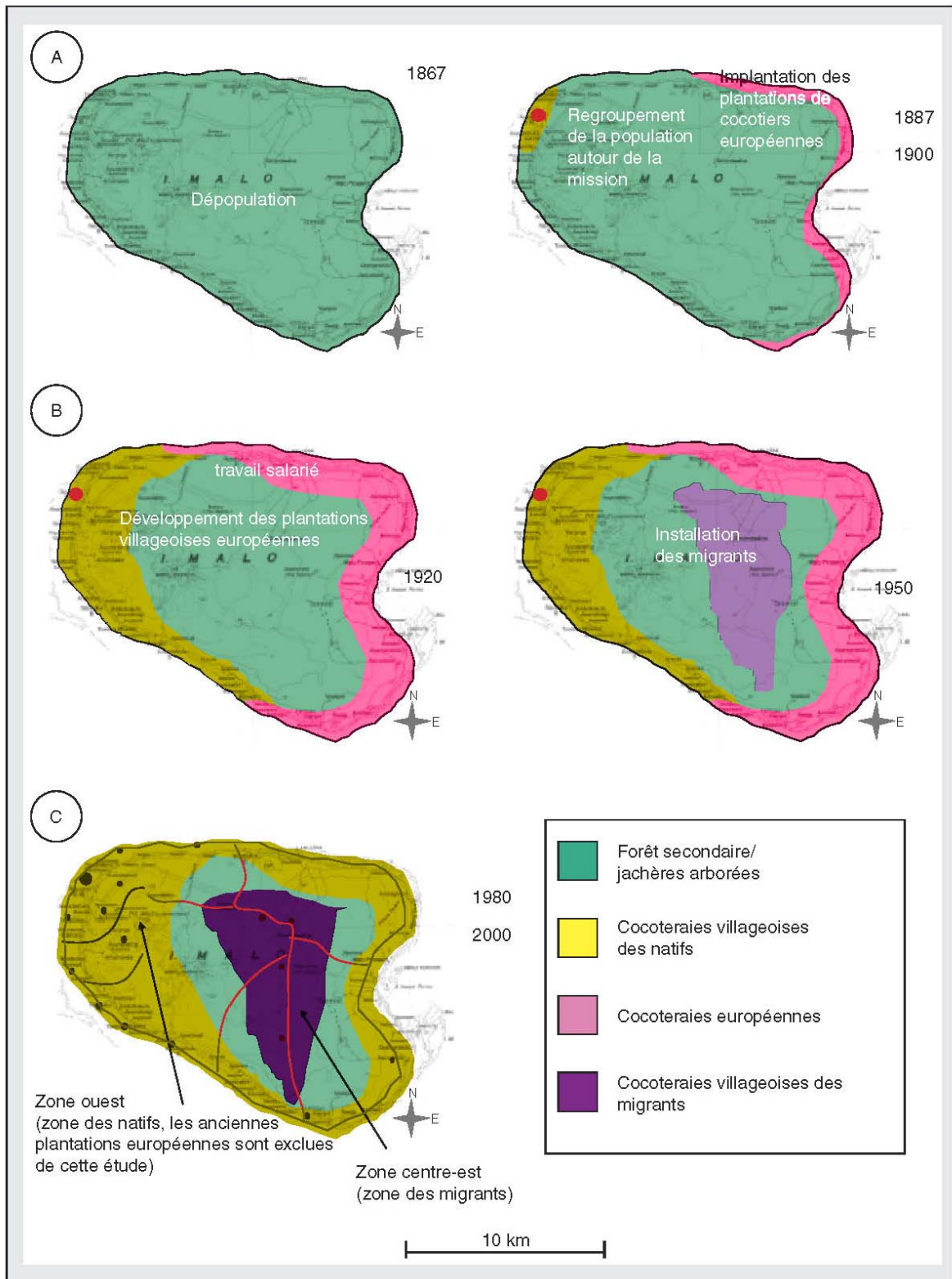


Figure 17 : Dynamique d'implantation de la cocoteraie de l'île de Malo au Vanuatu ([ACL-09]).

Le résultat du zonage

C'est au début du 20^{ème} siècle que des colons européens installent, après spoliation de la terre des autochtones, des plantations de cocotiers sur le littoral nord-est de l'île qui offre d'excellentes conditions agroécologiques (Figure 17 A). Les habitants de Malo après les spoliations sont regroupés sur la côte ouest. Encouragés par les missionnaires, ils mettent en place leurs propres plantations autour des villages et sur le littoral.

Le travail salarié dans les plantations européennes attire des migrants venus d'autres îles. A force d'économies, ces migrants achètent des terres sur Malo et s'y installent. Les propriétaires fonciers leur concèdent alors aisément les terres moins peuplées du centre de l'île. Les migrants installent ainsi leurs propres plantations dans lesquelles ils s'établiront ensuite (Figure 17 B).

L'extension de la cocoteraie s'effectue donc d'une part à partir du littoral en direction de l'intérieur des terres et d'autre part en rayonnant autour des villages du centre de l'île. Ce schéma permet d'expliquer la localisation géographique des différentes classes d'âges du peuplement cocotier sur l'île : alors que les cocoteraies les plus âgées sont situées sur le littoral et à proximité des villages, les peuplements les plus jeunes se trouvent plus à l'intérieur des terres et à plus grande distance des villages. Ce phénomène n'est pas spécifique à l'île de Malo ; il a également été décrit pour d'autres îles du nord de l'archipel, et peut être considéré comme le mode d'organisation classique de la cocoteraie au Vanuatu (Bonnemaison, 1974; Weightman, 1989). Après l'indépendance, en 1980, les planteurs européens sont expulsés et les terres sont redistribuées aux autochtones (Figure 17 C).

2. Définition des différentes trajectoires de peuplements de cocotiers

Mise en évidence de la diversité des situations culturelles « cocotiers »

La caractérisation des systèmes de culture à base de cocotiers (SdCc) présente des difficultés méthodologiques liées à la durée du cycle biologique des cocotiers (de l'ordre d'une centaine d'années) qui limite les possibilités de suivi au cours du temps. Pour contourner cette difficulté, la diversité des âges de cocoteraies existant dans la zone d'étude a été utilisée pour reconstituer l'enchaînement des stades de développement des cocotiers dans les différents systèmes de culture (SdC). Cette approche implique alors de faire l'hypothèse qu'il existe à la fois une constance des pratiques culturelles sur la période de temps considérée et que les différentes parcelles sont situées dans le même milieu agroécologique. La constance des pratiques semble être une hypothèse plausible dans la mesure où les pratiques paysannes pour la culture du cocotier ont peu évolué depuis le développement des cocoteraies : encore actuellement les agriculteurs n'ont recours ni aux intrants ni à la mécanisation.

Pour caractériser les différents types de SdCc présents sur notre zone d'étude, on cherche donc à repérer, décrire et ordonner la diversité de situations culturelles existant sur les parcelles. Par « situation culturelle » on entend l'état d'une parcelle à un moment donné (celui de l'observation) en définissant à la fois la structure du peuplement de cocotiers (en termes de stade de développement, mais aussi de variété, densité, dispositif de plantation des cocotiers) et le type d'association végétale mis en œuvre. Cette notion de « situation culturelle » est très proche de celle que nous avons définie pour l'étude du ruissellement érosif.

Le recensement exhaustif des situations culturelles étant exclu (environ 710 exploitations en 1999 sur Malo, une stratégie d'échantillonnage est mise en œuvre pour représenter la plus large gamme possible de situations culturelles existant dans la zone d'étude. On a donc cherché, à l'intérieur des zones ouest (zone des natifs) et centre-est (zone des migrants) à caractériser les parcelles de cocotiers de différents types d'exploitants. Des entretiens informels réalisés dans les villages en 2002 et des visites de terrain ont au final abouti à la constitution d'un échantillon d'une centaine de parcelles.

Chaque parcelle de l'échantillon est caractérisée par son histoire culturelle (retracée par enquête auprès des exploitants) et par le descriptif de sa structure de végétation. Les différentes situations culturelles décrites sont ensuite ordonnées, à la fois selon le stade de développement des cocotiers et le type d'association mis en œuvre.

Présentation des trajectoires cocotiers

Les enquêtes parcellaires ont permis de mettre en évidence différents « groupes structuraux » c'est-à-dire des caractérisations de parcelle sur la seule base de la description de la structure des peuplements présents (Tableau 3). Cette caractérisation est très proche de la notion « d'états de référence » que nous avons proposées pour le ruissellement (Tableau 2). De la même manière que les états de référence avaient été mis en relation pour constituer des trajectoires d'états vis-à-vis du ruissellement (Figure 5), les groupes structuraux ont été mis en relation afin de constituer des trajectoires de peuplements cocotiers permettant de reconstituer les systèmes de culture à base cocotier pour discuter l'intégration actuelle et possible des jardins.

Les trajectoires cocotier présentent des points communs et des différenciations qui conditionnent les possibilités d'intégration de jardins vivriers (Figure 18). On distingue sommairement une trajectoire agro-pastorale avec une association bovins viande-cocotiers (Système I) d'une trajectoire agro-forestière avec notamment une association cacaoyers-cocotiers (Systèmes III, IV, et V). Les suivis de terrain montrent que les jardins sont présents en tout début de trajectoire mais aussi en cours de culture au gré des ouvertures du couvert. Les raisons les plus fréquemment invoquées par les agriculteurs, pour l'abandon ou la transformation des jardins vivriers sur les parcelles de cocotiers sont la colonisation racinaire des horizons superficiels du sol par les cocotiers et la réduction de rayonnement disponible sous le couvert.

Tableau 3 : Description des groupes structuraux identifiés par voie d'enquête sur parcelles cocotiers ([ACL-13])

Structural groups	Monitored plots (no.)	Structural attributes of vegetation											
		Number of tree species per plot		Number of semi-perennial crop species per plot		Shannon Weaver index		Coconut tree density (no. per ha)		Cacao tree density (no. per ha)		Tree density other than coconut and cocoa (no. per ha)	
		mean	CV%	mean	CV%	mean	CV%	mean	CV%	mean	CV%	mean	CV%
I _{1A}	22	13	33	1	251	1.13	48.8	165	29	0	469	81	163
I _{1B}	41	12	29	0	-	1.35	42.6	126	30	1	384	120	134
I _{1C}	19	15	27	5	45	2.01	23.3	107	26	5	436	244	99
I ₂	15	9	57	5	78	1.66	24.1	218	50	11	190	129	54
I _{3A}	17	9	51	7	42	1.58	26.6	210	57	3	141	206	84
I _{3B}	10	7	23	1	218	1.36	33.5	332	56	0	0	1017	77
I _{4A}	4	13	13	2	141	1.31	39.6	240	100	0	0	108	60
I _{4B}	4	14	38	8	29	1.86	27.7	198	81	1	200	60	76
II _{1A}	6	15	40	2	92	1.44	46.3	144	26	280	87	167	165
II _{1B}	5	17	34	1	100	1.49	23.1	150	29	128	49	51	35
II _{1C}	12	17	30	5	64	2.03	22.9	134	32	249	90	172	55
II ₂	8	15	45	3	77	1.62	39.1	197	33	125	187	198	52
II _{3A}	14	11	38	6	47	1.74	29.4	131	63	332	88	341	103
II _{3B}	11	14	42	5	47	1.92	21.6	150	56	173	97	366	91

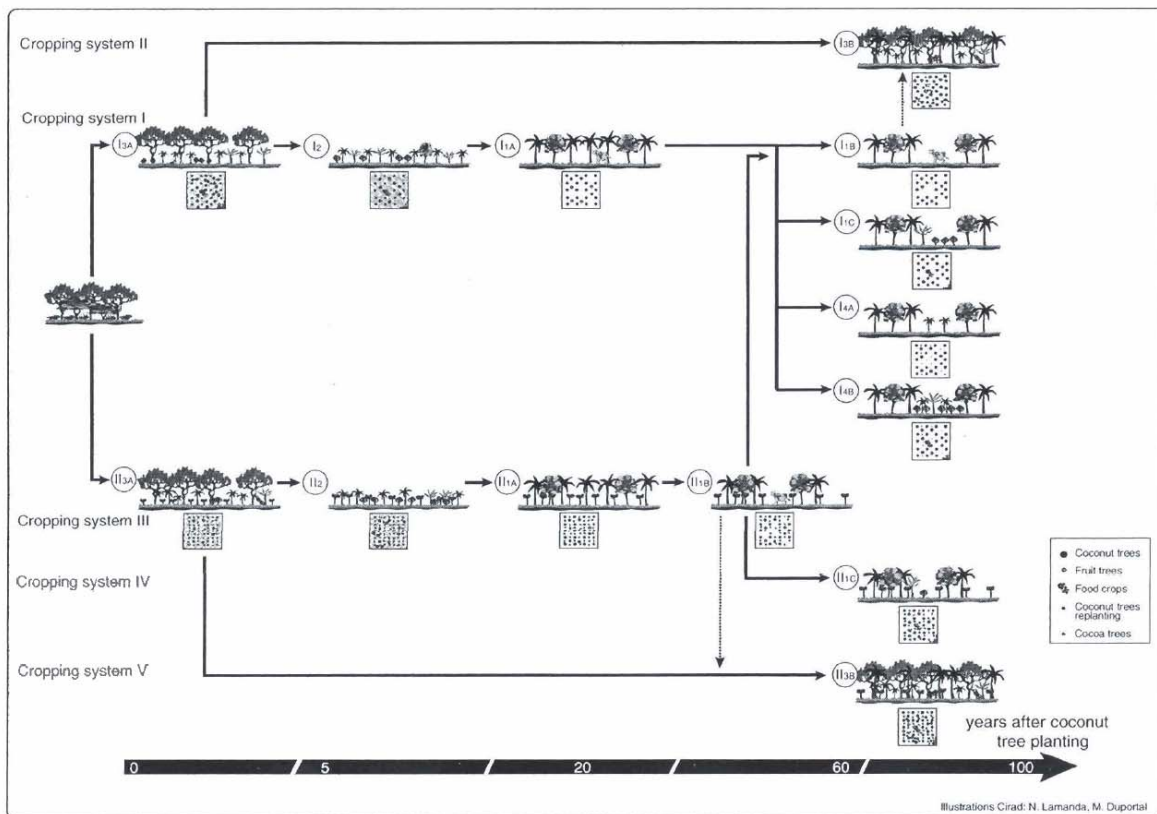


Figure 18 : Dynamique temporelle des systèmes de culture à base cocotier sur l'île de Malo (Vanuatu). ([ACL-13]).

Localisation géographique des systèmes agro-forestiers et agro-pastoraux

Les deux grands types de systèmes sont mis en œuvre dans chacune des zones de l'île mais dans des proportions différentes. La prédominance du système agropastoral sur la frange littorale peut être expliquée par les caractéristiques agroécologiques de cette zone, où la faible profondeur du sol corallien et l'influence des embruns marins limiteraient les autres possibilités d'association de cultures avec les cocotiers. C'est également dans cette zone, où les plantations sont les plus anciennes et où la disponibilité foncière est actuellement la plus limitée, que sont retrouvées les situations de replantation. Le système agroforestier est plus particulièrement fréquent dans la zone centre est. Cela semble pouvoir être mis en relation avec la volonté des migrants de valoriser au maximum la terre achetée en y implantant de nombreux fruitiers et en y associant des cultures de rente. Dans un contexte de baisse des prix du coprah, le système agroforestier, où plusieurs types de productions sont susceptibles d'être autoconsommées et/ou commercialisées (coprah, cacao, fruitiers, bois d'oeuvre, etc.), pourrait apparaître comme une voie plus rentable.

Point d'étape : Dans cette partie nous avons conduit une première analyse de la dynamique des systèmes cocotiers afin de discuter des possibilités d'insertion de jardins vivriers. Dans le fond, cette analyse a été conduite selon les mêmes principes que ceux présentés pour l'étude de la réduction du ruissellement érosif : établissement de trajectoires d'états construites à partir de situations culturelles. Ces trajectoires d'état permettant de préciser des stades propices à l'intervention. Pour le ruissellement érosif, les trajectoires d'état avaient été établies à partir de suivis de parcelles dans le temps (analyse diachronique). Pour les systèmes cocotiers, les pas de temps mis en œuvre interdisaient un tel suivi diachronique. Les trajectoires d'états ont donc été établies à partir d'analyse synchroniques (différentes parcelles considérées comme différentes étapes d'une même trajectoire). Pour mener à bien ce type d'analyse il nous a fallu structurer de manière plus rigoureuse le territoire d'étude (Ile de Malo) à la fois dans le temps (identification des différentes vagues de plantation) et dans l'espace (identification des types de milieux et de populations concernées). C'est donc la prise en compte de pas de temps importants qui nous a amené à considérer de manière plus attentive des territoires de type « systèmes agraires » supérieurs à la parcelle et ne recoupant pas forcément des espaces écologiques comme les bassins versants abordés pour le ruissellement érosif.

3. Evaluation multicritère et durabilité des systèmes à base cocotier

Une des limites du travail mené sur le ruissellement érosif était qu'il ne prenait pas en compte d'autres fonctions assurées par les systèmes de culture que celle de la limitation du ruissellement dans le respect de la fonction de production. Dans le cas des systèmes cocotiers, une approche mono-critère est quasi impensable. La description des systèmes a mis en évidence que les cocotiers étaient très souvent associés à d'autres productions (jardins, cacaoyers, élevage bovin,...). Le travail sur l'intégration des jardins dans les systèmes cocotiers doit s'accompagner d'une analyse *a minima* des autres fonctions assurées par les parcelles cocotier. Par ailleurs, la durée quasi centennale des plantations conduites sans apports de fertilisants chimiques ou organiques conduit à réfléchir à la durabilité des systèmes du point de vue de la fertilité à long terme du milieu.

Approche de la multifonctionnalité des systèmes cocotiers

Les peuplements végétaux assurent généralement 3 types de fonctions repérées à partir des savoirs des populations locale (Nair, 1993; Elevitch and Wilkinson, 2000) : économiques, écologiques et sociales. Dans le cadre de la thèse de N. Lamanda, nous nous sommes limités aux fonctions économiques et écologiques. Le Tableau 4 illustre les résultats obtenus pour les fonctions économiques des principaux groupes structuraux décrits dans le Tableau 3. Ces résultats qui intègrent enquêtes auprès des producteurs locaux et résultats bibliographiques montrent la grande diversité de fonctions de production potentielle assurées par les différents peuplements présents sur les parcelles considérées. Les fonctions écologiques abordées au travers du calcul d'indice de biodiversité ont montré que la diversité en espèces ligneuses sur les parcelles de cocotier est plus importante que la diversité en espèces semi-pérennes ; la valeur moyenne de l'indice de Shannon²⁷ est de 1,50 pour les espèces ligneuses contre 0,60 pour les semi-pérennes.


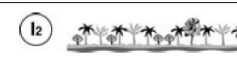




Evaluation selon les possibilités d'intégration des jardins

Dans notre travail précédent sur le ruissellement, un diagnostic initial avait montré le rôle de la rugosité sur le ruissellement de la pomme de terre. Une modélisation du fonctionnement hydrologique des parcelles avait alors permis de définir les conditions d'usage des micro-barrages visant à réduire ce ruissellement. Pour les jardins au Vanuatu, le diagnostic initial conduit sur les parcelles paysannes a montré le caractère limitant (1) de la réduction du rayonnement transmis sous le couvert cocotier et (2) de l'encombrement racinaire. Partant de là, une modélisation spatiale de la dynamique de ces deux paramètres a permis de préciser les phases pour lesquelles l'intégration de jardin serait possible. La modélisation ainsi conduite sur des parcelles du système agro-pastoral a pu montrer qu'à partir de 35 ans, le rayonnement transmis²⁸ permettait d'envisager la remise en place de jardins dans les cocoteraies mais qu'à la même date, c'est l'encombrement racinaire qui posait problème²⁹ dans la mesure où les jardins comportent une forte proportion de tubercule dont la plantation et l'arrachage seraient alors rendus difficiles ([ACL-16]). Ce résultat établi en conditions paysannes est intéressant car il s'oppose à l'avis communément admis dans la littérature que la culture intercalaire ne pose pas de problème après 35 ans (Nair, 1979; Colas, 1997). Cette différence tient au fait que la littérature s'appuie sur des résultats en parcelles de grandes plantations industrielles où le recours au travail du sol mécanique limite le développement des racines des cocotiers. Le développement des jardins en parcelles paysannes se fait donc à l'occasion de trouées générées par la mortalité de cocotiers non remplacés qui réduisent localement l'encombrement racinaire.

²⁷ $H' = -\sum_{i=1}^S p_i \ln p_i$ Avec : i : une espèce du milieu d'étude, p_i : Proportion d'une espèce i par rapport au nombre total d'espèces (S) dans le milieu d'étude qui se calcule de la façon suivante: $p(i) = n_i / N$ où n_i est le nombre d'individus pour l'espèce i et N est l'effectif total (les individus de toutes les espèces). Cet indice est l'un des plus utilisés, il permet de quantifier l'hétérogénéité de la biodiversité d'un milieu d'étude et donc d'observer une évolution au cours du temps. Cet indice varie toujours de 0 à $\ln S$

²⁸ Modélisé avec la plateforme Archimed, cf Dauzat, J., Eroy, M.N., 1997. Simulating light regime and intercrop yields in coconut based farming systems. *European Journal of Agronomy* 7, 63-74.

²⁹ Modélisé avec le modèle RACINE, proposé par Jourdan, C., Rey, H., 1997. Modelling and simulation of the architecture of the oil-palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) root system. I The model. *Plant Soil* 190, 217-233.

						
Commercialisation	●	● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ○	⌘ ● ■	⌘ ● ■
Alimentation humaine	● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ■	⌘ ●	⌘ ● ■	⌘ ● ■
Construction	○	○	● ○	● ○	● ○	● ○
Combustible	● ○	● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○
Artisanat/ usages vie quotidienne	⌘ ○ ■ □	⌘ ■ □	⌘ ● ○ ■	⌘ ○	⌘ ● ○ ■ □	⌘ ● ○ ■
Alimentation bétail		○	● ○	● ○	● ○	○
Médicinal et/ou coutumier	●	● ○ ■	● ○ ■	⌘ ● ○	● ○ ■	○





				
Commercialisation	⌘ ● ■	⌘ ●	⌘ ● ○	⌘ ●
Alimentation humaine	⌘ ● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ■	⌘ ● ■
Construction	● ○	● ○	● ○	○
Combustible	● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○	⌘ ● ○
Artisanat/ usages vie quotidienne	⌘ ○ □	⌘ ● ■ □	⌘ ● ○	⌘ ○ ■ □
Alimentation bétail		● ○	● ○	● ○
Médicinal et/ou coutumier	● ■	● ○	● ○ □	● ○

Tableau 4 : Usages du peuplement dans les systèmes de culture à base de cocotiers (trajectoires agropastorales (SdC I) et agroforestières (SdC III-IV)). (⌘ = espèces majeures (cocotiers et parfois cacaoyers) ; ● = espèces ligneuses fruitières (arbres fruitiers) ; ○ = espèces ligneuses non fruitières (autres arbres) ; ■ = espèces herbacées alimentaires ; □ = autres espèces herbacées.

Durabilité des systèmes cocotiers : teneur en matière organique des sols

Les systèmes de culture à base cocotier de Malo sont conduits sans apports d'intrants chimiques ou organiques. L'évolution à long terme des caractéristiques des sols telles que la teneur en matière organique permet d'avoir une idée de la durabilité des systèmes de cultures par rapport aux ressources du milieu. Pour réaliser cette étude, N. Lamanda s'est appuyée sur le même réseau de parcelles que pour l'étude de la structure des peuplements. La Figure 19 donne les résultats obtenus pour les différentes chronoséquences tout en les complétant avec ce qui a été obtenu sur des parcelles fertilisées de type grande plantation, jusqu'à 20 ans après la plantation. Ces résultats montrent que malgré une diminution initiale, les différents systèmes permettent de maintenir à long terme les teneurs en matière organiques. Ceci s'explique vraisemblablement par l'importante fertilité physico-chimique des sols concernés³⁰.

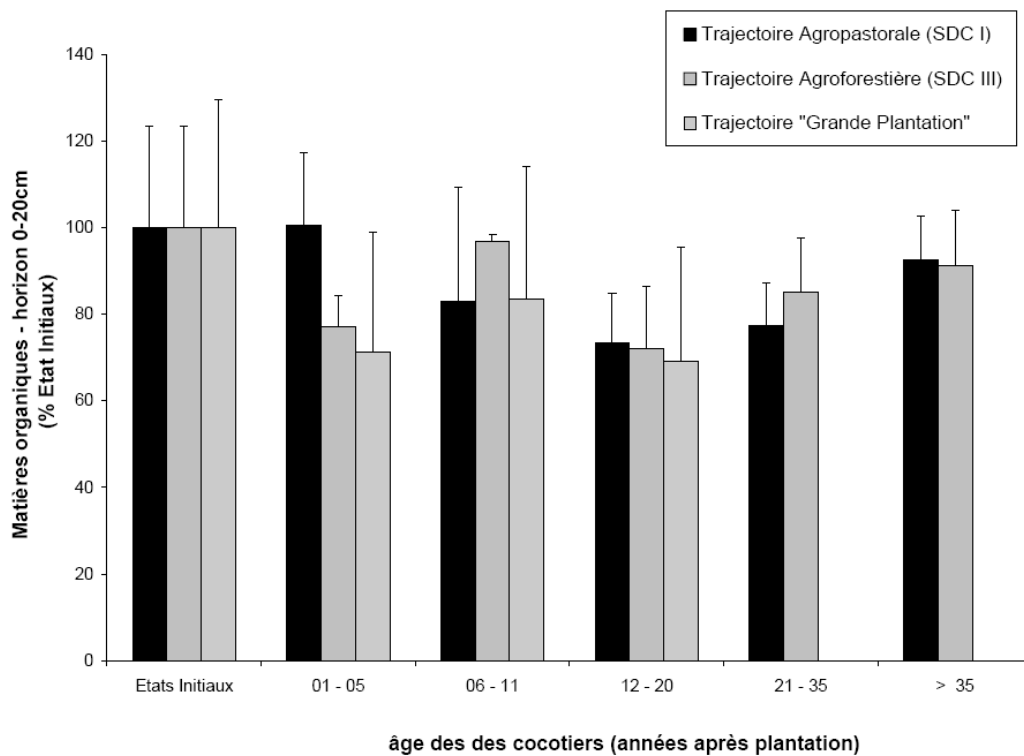


Figure 19 : Effet du système de culture et de l'âge des cocotiers sur la teneur en matière organique du sol (en % de la MOS avant plantation des cocotiers dans les 20 premiers cm de sol) des parcelles paysannes de Malo.

³⁰ Les sols de plateaux de Santo et Malo sont des sols ferralitiques bruns rouges, faiblement désaturés. Ces sols sont profonds et présentent une texture argilo-limoneuse régulière sur tout le profil, une capacité d'échange cationique importante (de 15 à 40 mé.100g-1) et un horizon humifère épais (de 15 à 20 cm) et riche qui alimenterait le pool d'éléments minéraux dans la solution du sol. Du fait de la profondeur d'enracinement des cocotiers (à plus de 2 m de profondeur), le bilan hydrique de ces sols peut être considéré comme non limitant de la culture des cocotiers. ils sont considérés comme très fertiles, avec des potentialités agronomiques optimales dans la classification et conviennent particulièrement aux cultures vivrières et à la culture du cocotier [THES-02].

Point d'étape : Dans cette partie nous avons montré comment les systèmes de culture cocotiers, d'une durée de presque 100 ans, ont pu être évalués selon différents critères et pas de temps tant dans leur fonctionnement actuel que par rapport aux possibilités d'intégration de jardins. Il se trouve que, compte tenu de modes de culture non mécanisés, l'intégration de jardins reste très limitée au-delà, de la phase juvénile des cocotiers. En revanche, malgré des exploitations de plusieurs dizaines d'années, sans apport d'intrants, les systèmes cocotiers ne semblent pas générer, à long terme, d'épuisement des sols sur l'île de Malo.

Conclusion sur l'analyse multi-échelle de l'effet des pratiques sur les processus

Dans cette première partie nous avons montré, sur deux thématiques complémentaires, comment nous avons abordé de manière générique l'effet des systèmes de culture sur les états du milieu, que ce soit pour la limitation des processus érosifs ou l'introduction de jardins vivriers dans les systèmes cocotiers. Nous avons souligné l'intérêt de la notion de trajectoires d'états qui permet de définir des périodes d'états favorables à la mise en œuvre des modifications souhaitées. Ces trajectoires d'état sont structurées autour de situation culturelles générant ce que nous avons appelé des « états de référence » pour le ruissellement et des « groupes structuraux » pour l'étude des systèmes de culture cocotiers. Nous avons aussi montré comment nous avons abordé le changement d'échelle pour passer de la parcelle à des entités supérieures (bassin versant ou zonage de l'île de Malo). Face à des pas de temps importants (Cocotiers) et des espaces complexes (ruissellement) nous avons souligné la nécessité d'un passage à la modélisation en montrant comment nous avons contribué à cette approche de manière directe ou par l'encadrement de doctorants. Enfin, l'exemple du cocotier nous a amené à réfléchir sur des dynamiques d'états du milieu sur des pas de temps pluri-décennaux. De même que la complexité des associations de cultures sur ces parcelles nous a amené à avoir une approche multicritère du fonctionnement des parcelles agricoles.

II. Analyse des pratiques agricoles au sein d'espace territorialisés : application au ruissellement érosif

Dans la première partie les pratiques agricoles ont été considérées comme des données permettant de faire un diagnostic sur les conséquences qu'elles entraînent sur l'environnement. Les propositions de modification des systèmes de culture ont été faites sur la base des résultats du diagnostic, en fonction des états objectifs recherchés pour le sol et le peuplement végétal. Que ce soit pour le diagnostic ou la conception de solutions techniques, l'acteur agriculteur à l'origine des pratiques n'a pas été pris en compte. Cela ne pose pas de problème majeur pour la partie diagnostic mais c'est plus discuté pour la conception de solutions. En effet, la pertinence technique des solutions envisagées ne présage en rien de leur adoption effective par les agriculteurs.

Partant de ce constat nous allons présenter dans cette partie notre réflexion sur la manière dont des solutions techniques peuvent s'intégrer aux marges de manœuvre des agriculteurs (voir encadré 3). Cette partie porte uniquement sur la thématique du ruissellement érosif. Nous l'avons structurée en 3 temps. Dans un premier temps nous considérerons le cas d'un agriculteur pris isolément afin d'analyser la manière dont les modifications préconisées sur certaines parcelles s'intègrent plus ou moins facilement à la conduite d'ensemble de son exploitation. Dans un deuxième temps nous analyserons une situation plus complexe mettant en jeu plusieurs agriculteurs exploitants dans un même bassin versant. Cette situation nous amènera à discuter des déterminants autres qu'agronomiques qui conditionnent la mise en œuvre des solutions préconisées par la recherche. Dans cette logique, dans un troisième temps je développerai le type de collaborations que j'ai développées avec des chercheurs en sciences économiques et sociales et le retour que cela a généré sur mon travail d'agronome.

A. Analyse des marges de manœuvre d'un agriculteur individuel

1. Origine et axes de la réflexion

La réflexion sur ce sujet remonte au suivi que j'ai effectué sur les parcelles d'un bassin versant du Pays de Caux au démarrage de ma thèse. Le cas était celui d'un agriculteur qui était le seul exploitant d'un petit bassin versant. Bien qu'au fait des problèmes érosifs, cet agriculteur s'était retrouvé en automne dans la situation où une de ses parcelles située en amont du bassin versant avait généré, après récolte d'une betterave sucrière, un important ruissellement qui avait érodé une autre de ses parcelles tout juste semée en blé plus en aval. Après discussion avec l'agriculteur en question, il s'est avéré que, très en retard dans ses récoltes d'automne du fait des pluies, il n'avait pas pu intervenir avec un travail du sol en amont pour limiter le ruissellement sur la parcelle aval.

Cet exemple montre que la connaissance des solutions techniques (*e.g.* travail du sol post récolte) ne suffit pas aux agriculteurs pour arriver à les mettre en œuvre. Ceci nous a donc conduit à réfléchir à l'organisation du travail en automne afin de discuter de l'intégration de techniques culturales supplémentaires (moutarde, déchaumage) permettant de limiter le ruissellement. Dans le cas de l'agriculteur « auto-érodé », on aurait pu envisager une autre répartition des cultures dans l'espace du bassin versant pour faire en sorte que les parcelles ruisselantes soient en aval et n'érodent pas la culture tout juste semée. Pour analyser cette piste, nous avons cherché à comprendre les logiques d'organisation des cultures dans le territoire d'exploitation.

Encadré 3 : Qu'entend-on par marge de manœuvre ?

L'analyse des marges de manœuvre s'inscrit dans une posture d'implication dans un processus de changement, soit parce qu'on s'intéresse aux possibilités d'intégration d'une « sollicitation » proposée de l'extérieur (mesure agri-environnementale, nouvelle variété) ; soit parce qu'on cherche à travers cette analyse des marges de manœuvre à faire émerger des innovations visant à résoudre un problème individuel ou collectif pour lequel les solutions existantes n'étaient pas satisfaisantes (choix d'équipement ou d'organisation du travail face à une pointe de travail jugée trop lourde par l'agriculteur).

L'analyse des marges de manœuvre ne se fait pas dans l'absolu mais par rapport à un objectif particulier (limitation de flux de polluants, ...). Elle se fait aussi en annonçant dès le départ ce que l'on considère comme fixe (par exemple : les assolements, la main d'œuvre...) et ce que l'on décide de faire varier (par exemple : les successions de culture, l'organisation du travail...). L'analyse des marges de manœuvre est donc un processus itératif qui permet d'explorer successivement différentes facettes de l'activité agricole pouvant poser problème afin de définir les marges de manœuvre par rapport à chacune d'elles.

L'analyse des marges de manœuvre consiste dans un premier temps à comprendre le fonctionnement global du système considéré (exploitation individuelle, ensemble d'exploitations coordonnées entre elles et avec d'autres acteurs), puis à analyser de quelle manière on peut utiliser les règles de fonctionnement du système pour introduire ou produire une innovation. Les outils et méthodes mis en œuvre pour analyser les marges de manœuvre portent en ce qui concerne les systèmes de culture sur les modèles de constitution des assolements/successions de culture en lien avec la gestion territoriale de l'exploitation que cela implique. Cela porte aussi sur l'organisation du travail et plus largement sur tout ce qui joue sur l'organisation technique de la production (modalités de stockage/livraison des récoltes ou des effluents, circulations au sein des territoires d'exploitation...)

L'analyse des marges de manœuvre permet de repérer ce qui peut être modifié dans le respect des règles des agriculteurs et donc à moindre coût pour la collectivité. Dans cette logique, est autorisé par une règle tout ce qui n'est pas interdit. Une proposition différente de ce qui est fait par l'agriculteur (en termes d'acte technique) ne s'opposera à une règle préexistante que si elle fait explicitement partie des interdits. D'un autre côté, un refus manifesté face à une proposition nouvelle peut permettre de préciser les règles préalablement identifiées. On peut aussi proposer des « assouplissements » de règles si on pense que l'exploitation ou le collectif d'exploitation peut y gagner par rapport à la thématique étudiée. La notion de « modification à moindre coût » reste relative car elle peut impliquer un coût non négligeable en termes d'animation et de conseil pour convaincre les agriculteurs qu'ils peuvent sans trop de problèmes répondre à la sollicitation extérieure.

Pour être réellement opératoire dans un processus de changement, la seule analyse agronomique de l'exploitation n'est souvent pas suffisante, c'est pourquoi les approches menées tendent à être complétées par le recours à des approches socio-économiques portant sur les objets du changement

Dans la littérature biotechnique on trouve plus fréquemment le terme de « flexibilité » que celui de « marge de manœuvre », notamment en ce qui concerne l'approche des exploitations d'élevage (Ingrand *et al.*, 2004; Dedieu *et al.*, 2008). La flexibilité est issue des sciences de gestion et s'intéresse plus particulièrement aux propriétés qui permettent à une entreprise de s'adapter à un contexte changeant sans modification profonde de sa nature. On se situe donc à ce niveau en termes de survie de l'exploitation agricole face à un univers changeant et souvent hostile (Marchesnay, 2004). Dans notre approche des marges de manœuvre, le contexte est considéré comme relativement stable, sans menace forte pour la survie de l'exploitation. On cherche à mobiliser des ressources existantes d'une autre manière qu'elles ne le sont actuellement pour répondre favorablement à une sollicitation extérieure sur la base d'un choix volontaire et non contraint. Il y a un continuum entre marges de manœuvre et flexibilité. La mise en place de cultures intermédiaires de moutardes peut relever des marges de manœuvre quand il s'agit de les développer au sein d'exploitation agricoles les plus aptes à les intégrer. Cette mise en place peut aussi relever d'une analyse de flexibilité quand elle relève d'une contrainte réglementaire qui s'impose à tous les agriculteurs (Cf. 4^{ème} programme d'action de la directive nitrate qui va rendre obligatoire la couverture hivernale des sols).

2. Travail sur un cas stylisé

Apport du modèle d'action

Les deux voies de travail proposées ci-dessus ont été abordées dans un article ([ACL-04]) dans lequel on reprenait en les simplifiant un certain nombre d'éléments rencontrés lors d'enquêtes auprès des agriculteurs du Pays de Caux ([MEM-01] ; [MEM-02]). La simplification essentielle portait sur le fait qu'on travaillait sur une exploitation constituée de parcelles contigües délimitant un unique bassin versant sans autres agriculteurs concernés.

Pour discuter de l'organisation du travail et de l'organisation dans l'espace des cultures nous nous sommes appuyé sur le modèle d'action de l'agriculteur (Duru *et al.*, 1988; Sebillotte and Soler, 1990). Le modèle d'action de l'agriculteur est une représentation du comportement d'un agriculteur qui réalise un processus technique pendant une campagne, représentation issue des théories de la décision et de la gestion. Ce modèle intègre :

- un découpage du système en unités de gestion,
- les objectifs de l'agriculteur,
- un programme prévisionnel fixant les "passages obligés" pour la réalisation de ces objectifs et le repérage des indicateurs sur lesquels s'appuient ses décisions,
- des règles définissant, pour chaque étape du programme, des "solutions de rechange" en fonction des événements qui peuvent modifier le déroulement de son programme.

Analyse des différentes marges de manœuvre du cas stylisé

Nous avons utilisé deux modèles dérivés du modèle d'action. Le premier porte sur les décisions d'assolement (Maxime *et al.*, 1995) ; il relie décisions de production et localisation des cultures ainsi que de leur succession sur le territoire de l'exploitation agricole. Il s'agit d'établir si une localisation des successions de cultures favorables à une bonne maîtrise du ruissellement est compatible avec une localisation découlant d'une logique de production marchande. Le second modélise l'organisation du travail (Papy *et al.*, 1988; Attonaty *et al.*, 1990); il relie, d'une part, les choix de cultures, de niveaux d'équipement et de main-d'œuvre et, d'autre part, la réalisation des interventions sur l'ensemble des parcelles à des dates et pour des conditions données. La question traitée peut alors s'énoncer comme suit : est-il possible de réaliser des interventions à des dates et dans des conditions qui permettent la maîtrise du ruissellement, tout en étant compatibles avec une conduite des cultures relevant d'une logique de production marchande ?

Dans le cas stylisé retenu, l'agriculteur ne semait pas de culture intermédiaire en automne. A partir de la typologie des couples précédent-suivant (encadré 2 page 40) on peut préciser les couples précédent-suivant pour lesquels cette implantation serait efficace pour réduire le ruissellement. L'analyse de l'organisation du travail permet alors de préciser la surface que l'agriculteur peut espérer mettre en place pour une année médiane compte tenu de sa charge de travail, prioritaire, à la même période. En ce qui concerne les modifications d'organisation spatiale des cultures dans l'espace du bassin versant, le cas retenu arrivait à une situation moins favorable. En effet, la réduction du ruissellement pouvait être envisagée en excluant une culture (le lin) de la partie amont de l'exploitation. Or cette culture est une culture prioritaire pour l'agriculteur qui en produit le maximum dans le respect du délai de retour de la culture sur elle même. Réduire la zone de culture revient soit à diminuer les délais de retour de la culture, soit à diminuer la surface cultivée pour respecter les délais de retour. Dans tous les cas cela entraîne un coût pour

l'agriculteur qui nous fait sortir du champ des marges de manœuvre tel que définies dans l'encadré 3.

Identifier et valoriser la diversité des marges de manœuvre

Pour ce cas stylisé nous avons mobilisé des modèles préexistants pour discuter des marges de manœuvre d'un agriculteur (1) par rapport à l'organisation du travail pour répondre à l'intégration d'interventions supplémentaires dans leur calendrier de travail automnal (2) par rapport à l'organisation de ses successions de culture au sein de son territoire d'exploitation pour limiter les interactions spatiales négatives entre parcelles. L'exemple a montré que les marges de manœuvre pouvaient être variables selon le critère considéré. Nous en tirons un principe d'action qui consiste à identifier pour chaque agriculteur le point sur lequel il sera le plus facile d'agir efficacement à moindre coût pour lui et la société.

B. Coordonner les marges de manœuvre d'agriculteurs d'un même bassin versant

Les bassins versants sont souvent exploités par plusieurs agriculteurs, chacun de ces agriculteurs pouvant disposer de marges de manœuvre variable selon les critères considérés. La question se pose alors de savoir comment combiner ces marges de manœuvre et comment évaluer les gains environnementaux obtenus par ces combinaisons. Cette approche est très importante dans une démarche d'actions volontaires portées par des animateurs de bassin versant qui doivent convaincre les agriculteurs de l'impact d'un changement de pratiques.

1. Les bases du travail

Une notion clé : le double découpage de l'espace

Le cas précédent correspondait à une situation extrême dans laquelle bassin versant et territoire d'exploitation étaient confondus. La plupart du temps, le bassin versant, défini comme la surface d'alimentation d'un exutoire où se pose un problème d'inondation boueuse, est cultivé par plusieurs agriculteurs dont chaque territoire d'exploitation n'est pas intégralement inclus dans le bassin étudié. Papy et al., (1991) ont parlé de double découpage de l'espace pour prendre en compte la nécessité d'analyser en parallèle le fonctionnement hydrologique du bassin versant (espace physique) et celui des différents territoires d'exploitation (espace décisionnel) à l'origine des états constatés dans le bassin versant. En d'autres termes, pour bien comprendre et améliorer ce qui se passe dans le bassin versant il est souvent nécessaire de considérer des espaces plus vastes intégrant l'ensemble des territoires d'exploitation concernés.

Faire mieux ici et maintenant sans faire pire ailleurs ou après

La recherche d'une amélioration de la situation environnementale au sein d'un bassin versant à une période donnée pose deux questions importantes. Du fait du double découpage de l'espace, est-ce que les améliorations sollicitées de la part des agriculteurs sur ce bassin versant ne vont pas se traduire par un accroissement des problèmes sur les zones gérées par les exploitations en dehors du bassin versant considéré. Ce travers a déjà pu être constaté sur d'autres thématiques. Capillon et al. (1988) notaient pour le Marais de Rochefort que le maintien des prairies en zone de marais se traduisait par le développement du maïs ensilage irrigué sur des sols de groies superficielles avec les risques de pollution par les nitrates que cela entraîne. L'autre question importante est relative à la dynamique temporelle. Est-ce que les modifications de systèmes de culture

opérées pour réduire les risques érosifs une année donnée ne vont pas se traduire, via les successions de cultures, par un accroissement des risques érosifs l'année suivante ?

Mise en place d'un dispositif d'étude

Le bassin versant de Bourville, d'une surface d'un millier d'hectares et exploité par une vingtaine d'agriculteurs, a été choisi pour tester l'intérêt qu'il pouvait y avoir à jouer sur les marges de manœuvre des agriculteurs pour réduire le risque de ruissellement érosif à l'exutoire du bassin versant. Les marges de manœuvre explorées concernaient comme pour le cas stylisé, l'organisation du travail en automne ainsi que l'organisation spatiale et temporelle des successions de culture des différents agriculteurs de ce bassin versant.

Ce travail a été conduit en couplant deux types de modèles. Les marges de manœuvre ont été définies grâce aux deux modèles de gestion des ressources travail et sol présentés pour le cas stylisé. Les sorties de ces modèles ont constitué l'entrée de modèles biophysiques permettant d'évaluer les conséquences sur le ruissellement. Les modèles biophysiques utilisés étaient STREAM ([ACL-11] ;[ACL-15]) et DIAR ([SOUMIS-01]).

2. Les principaux résultats

Evaluation des modèles de gestion de ressources agricoles

Des enquêtes en exploitation agricoles ont permis de recueillir les informations nécessaires au paramétrage des modèles de gestion de ressources. Un test du modèle de succession de cultures a permis de vérifier qu'on arrivait assez bien à rendre compte de l'occupation du sol pour une année donnée en intégrant la connaissance des successions de cultures parcelle par parcelle sur les 6 années précédentes pour les 14 principaux agriculteurs du bassin versant (Figure 20).

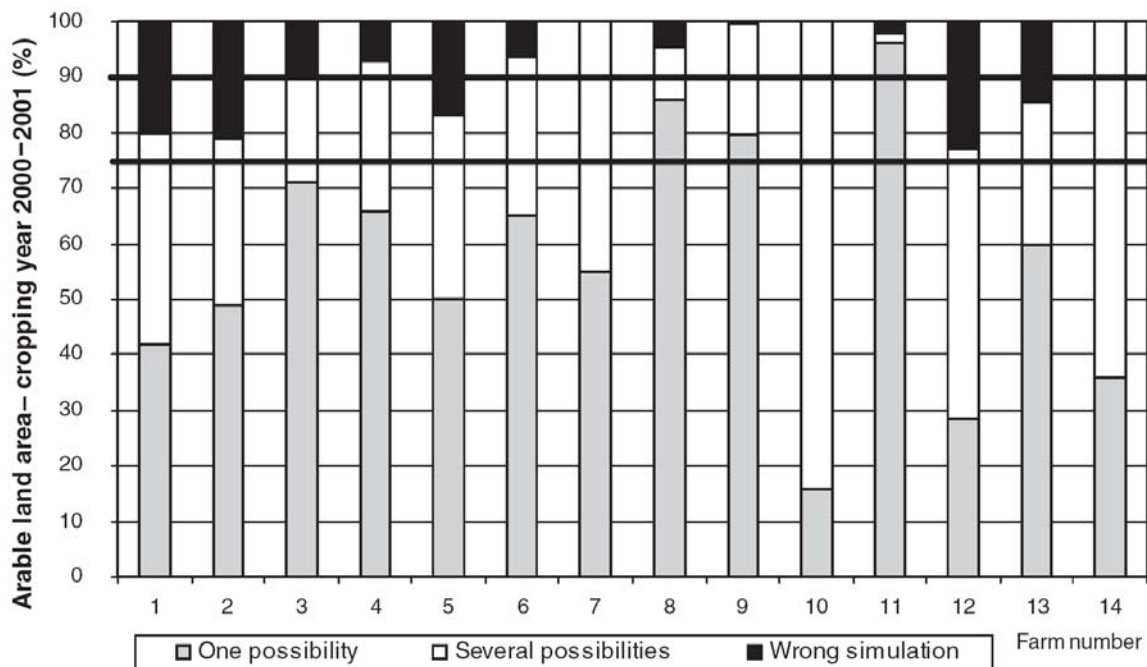


Figure 20 : Validation des règles de succession de culture sur l'année 2000-2001 connaissant les occupations du sol des 6 années précédentes. « One possibility »=le modèle ne donnait qu'une seule culture possible et c'est celle qu'a retenu l'agriculteur ; « Several possibilities »=le modèle indiquait plusieurs cultures possibles l'agriculteur a bien retenu une des cultures envisagées ; « Wrong simulation » = la culture retenue par l'agriculteur ne fait pas partie de celles prévues par le modèle ([ACL-15]).

Le modèle de gestion de la ressource travail que Joannon a utilisé était une simplification sous excel ® du logiciel « OTELO » (Attonaty *et al.*, 1990). La simplification essentielle portait sur le fait qu'on tendait à minimiser le nombre de jours disponibles pour intervenir en automne du fait qu'on s'interdisait un assouplissement des règles de déclenchement des travaux culturaux quand l'agriculteur prenait trop de retard dans son programme (cf. règles d'adaptations du modèle d'action). Il résulte de cette simplification que le nombre de jours disponibles et donc d'ha sur lesquels on peut effectuer déchaumages et semis de cultures intermédiaires supplémentaires sont connus par défaut.

Apports du couplage avec le modèle STREAM

Les simulations conduites dans le cadre de la thèse d'A. Joannon ont cherché à montrer ce qu'on pouvait gagner en termes de ruissellement en jouant sur tout ou partie des marges de manœuvre étudiées. Différents scénarios de combinaison de ces marges de manœuvre ont été construits et testés avec STREAM. La Figure 21 présente une partie des résultats obtenus. Il apparaît ainsi que la conjonction d'assolements infiltrants et de techniques modifiées (voir légende pour précision) permet de diminuer de près de 30% le ruissellement par rapport à un maintien des techniques actuelles et un assolement ruisselant. On note aussi qu'il ne semble pas y avoir d'interaction positive entre les deux types de marge de manœuvre. La somme des gains réalisés pour chacune d'elles (10 et 20%) étant très peu différente du gain obtenu quand on les fait jouer de concert (31%).

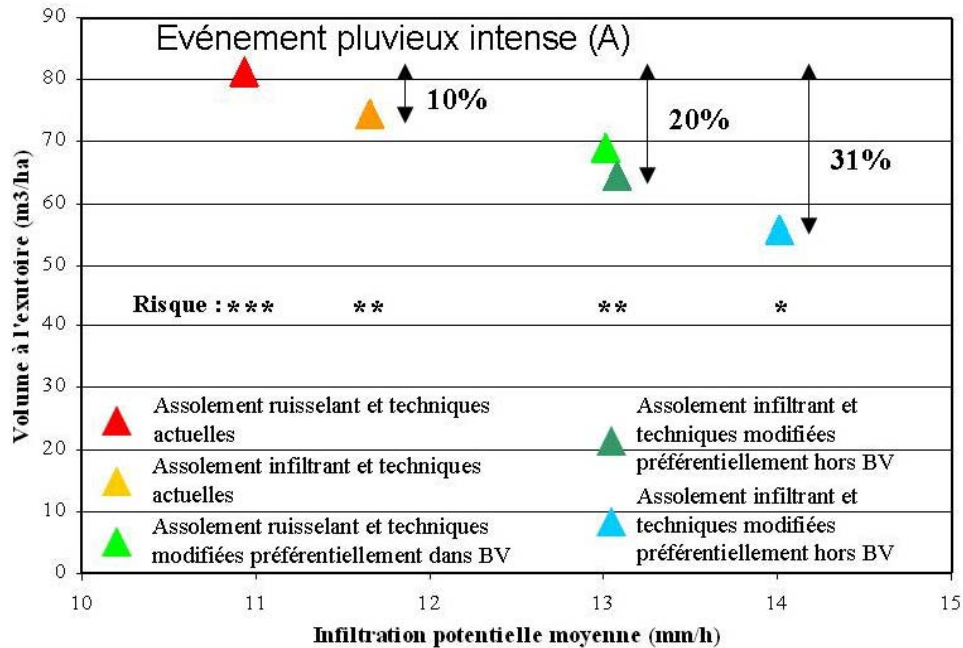


Figure 21 : Résultat des simulations menées avec STREAM sur le bassin de Bourville en fonction de différents scénarios de combinaison des marges de manœuvre des agriculteurs pour l'hiver 2002 connaissant les occupations du sol sur les 6 années précédentes. *Assolement infiltrant* : on utilise les marges de manœuvre des agriculteurs pour minimiser la production de ruissellement via les règles de succession et d'agencement des cultures dans le bassin versant. *Assolement ruisselant* : on cherche à maximiser le ruissellement en utilisant les mêmes règles. *Techniques modifiées* : on introduit des interventions culturales en automne pour limiter le ruissellement dans le respect des règles d'organisation du travail des agriculteurs. *Dans ou hors BV* : du fait d'un nombre limité de jours disponibles pour intervenir sur les parcelles en automne, les agriculteurs ne peuvent pas toujours intervenir sur toutes leurs parcelles. On distingue la situation favorable où ils privilégient les parcelles du bassin versant pour ces interventions et la situation défavorable où ce sont plutôt les parcelles extérieures au BV qui font l'objet de ces interventions.

Test sur les transferts de risque

La réduction de 30% du ruissellement pour une année donnée n'a de réel intérêt que si elle ne se traduit pas par un transfert dans le temps ou dans l'espace du ruissellement. Les simulations menées par Joannon indiquent qu'en appliquant à l'année suivante les mêmes modes d'activation des marges de manœuvre, il restait possible de réduire le ruissellement. Cette réduction n'est toutefois que de 14 % soit plus de deux fois moins que ce qu'on atteignait l'année précédente. Pour les risques de transferts spatiaux, Joannon a vérifié que le poids des exploitations agricoles sur lesquelles on intervenait ne dépassait jamais 10% du total de chacun des autres bassins versants où elles avaient des terres. Par défaut il a donc été considéré que leur impact sur le ruissellement pouvait être négligé.

Retour sur les marges de manœuvre différentes d'un agriculteur à l'autre

Dans le cas stylisé, l'exploitation disposait de marges de manœuvre par rapport à l'organisation du travail mais ses marges étaient très réduites pour la modification des successions de cultures. Le travail sur le cas réel de Bourville a permis de montrer que les marges de manœuvre étaient de fait variables d'un agriculteur à l'autre au sein d'un bassin versant. Certains pourraient plus facilement faire des interventions supplémentaires en automne ([ACL-11]) alors que pour d'autres la modification des successions de culture poserait moins de problèmes ([ACL-15]).

Point d'étape : pour ce début de deuxième partie sur la construction des systèmes techniques, nous nous sommes concentrés sur des systèmes purement agricoles dans lesquels nous avons discuté des conséquences du double découpage de l'espace sur les possibilités de réduire le ruissellement à l'exutoire d'un bassin versant. Ces possibilités sont évaluées à l'aune d'un repérage des marges de manœuvre techniques des agriculteurs effectué avec des modèles issus des recherches sur le modèle d'action. Nous avons procédé par étape en considérant tout d'abord un cas théorique réduit à une exploitation dans un bassin versant une année donnée. Nous avons ensuite abordé une situation réelle où plusieurs exploitations exploitaient un même bassin versant considéré sur deux années successives. Nous avons ainsi montré qu'il était possible d'obtenir des réductions substantielles de ruissellement en ne jouant que sur l'articulation des marges de manœuvre techniques des agriculteurs. Ces marges varient fortement d'un agriculteur à l'autre. Les synergies entre agriculteurs permettent de lever des blocages individuels. L'approche proposée souffre toutefois de limites importantes. Les solutions proposées sur la base des modifications de successions de culture sous-entendent une coordination entre les agriculteurs. Or nous n'avons rien dit sur cette coordination qui de fait n'existe pas actuellement. Quelles en sont les conditions préalables ? Sur quelles bases agronomiques faut-il la construire et la faire vivre sont autant de questions auxquelles nous n'avons pas apporté de réponses. En ce qui concerne l'insertion d'interventions culturelles supplémentaires nous avons mis en œuvre des cultures intermédiaires chez des agriculteurs qui n'en faisaient pas sur la seule base de la disponibilité de temps de travail. Or il est possible que le facteur limitant de l'introduction de ces techniques soit autre que le seul temps de travail (raisons socio-économiques). En ce cas comment l'identifier et l'intégrer dans nos démarches ? Dans la partie suivante nous tenterons d'apporter des réponses (partielle !) à ces questions en déplaçant notre point de vue en direction d'une collaboration avec les sciences économiques et sociales.

C. Apports des sciences économiques et sociales au regard de l'agronome sur les changements dans les territoires agricoles

Dans les parties II.A et II.B nous nous sommes concentrés sur les marges de manœuvre des agriculteurs que nous avons analysées par rapport aux changements souhaitables des systèmes de culture. Malgré son intérêt, cette approche revient *in fine* à considérer les agriculteurs comme seuls au monde et devant résoudre par eux-mêmes des problèmes qui certes les concernent mais qui concernent aussi fortement le reste de la société et notamment les collectivités locales situées à l'aval des bassins versants. Dans cette partie, nous allons tenter de repousser les limites du système étudié pour prendre en compte la manière dont les porteurs d'enjeux locaux, non agriculteurs, peuvent interagir sur l'orientation des pratiques agricoles qui restent au cœur de notre travail. Cette analyse se fera dans la même logique d'analyse des marges de manœuvre que nous avons conduite sur les pratiques des agriculteurs, mais cette analyse concernera le système d'acteurs locaux (Darré *et al.*, 1989) et plus uniquement les seuls agriculteurs individuels.

Les travaux à caractère plus économique et sociologique présentés dans cette partie trouvent leur origine dans des programmes de recherche à l'occasion desquels j'ai été amené à collaborer avec des sociologues et des économistes (Action Incitative Programmée « Eau » ([OS-01]) et du projet GESSOL ([AP-07] ;[AP-08])) Ces premières expériences m'ont ensuite aidé à monter deux projets pluridisciplinaires successifs dont

j'assume la responsabilité scientifique depuis 2003³¹. Ces deux projets s'inscrivent dans le cadre du programme Risques Décisions Territoires (RDT) du ministère en charge de l'environnement. En m'appuyant sur l'expérience des projets AIP Eau et Gessol j'ai souhaité travailler à de réels échanges entre l'agronomie d'une part, l'économie et la sociologie d'autre part. Je présenterai tout d'abord les liens tissés avec l'économie puis ceux développés avec la sociologie.

1. De l'évaluation coût-bénéfice à la recherche de nouvelles régulations économiques

La lutte contre le ruissellement érosif combine généralement des solutions agronomiques telles que nous avons pu les présenter dans les pages précédentes, ainsi que des solutions d'aménagement hydraulique (bassins, fascines). Ces deux types de solutions ont pour but de limiter les coûts des dégâts, que ce soit sur le territoire agricole ou en aval de l'exutoire. La difficulté réside dans le fait qu'il est relativement difficile d'établir dans l'absolu le coût des dégâts érosifs et encore plus d'avoir une idée du gain économique qu'il pourrait y avoir à lutter contre ces phénomènes ([AP-11], (Pimentel *et al.*, 1995; Elyakime and Bruno, 2000; Pretty *et al.*, 2000; Schuler and Kächele, 2003). La décision publique se prend le plus souvent sur la base d'événements catastrophiques qui marquent les populations et dont on veut éviter le retour (Cartier, 2002; Heitz *et al.*, 2009). La décision est donc plus politique qu'économique puisqu'aucune évaluation coût-bénéfice de la politique mise en œuvre n'est envisagée. A notre niveau d'agronome l'aspect économique est souvent mis en avant par les agriculteurs comme un frein au changement des pratiques (Elyakime and Bruno, 2000; Schuler and Kächele, 2003). De fait l'activité agricole génère des externalités négatives vis-à-vis des autres agents économiques, sous des conditions socio-techniques telles qu'il est pratiquement constamment observé que l'agriculteur, ou un collectif d'agriculteurs créé pour l'occasion en général par des instances non agricoles, ne réagit pas seul face à ces dégâts (Cochard *et al.*, 2005) [AP-07]. Se pose alors la question de l'évaluation des coûts de protection anti-érosive sur les parcelles agricoles ainsi que celle de l'équité de la répartition de ces coûts entre les différents agriculteurs d'un même bassin versant et les autres parties prenantes touchées à l'aval. Au-delà de cette question, se pose aussi celle, plus large, de la proposition d'une nouvelle organisation économique des acteurs liés par la circulation de l'eau car l'organisation actuelle basée sur la loi de 1982 (Catastrophe naturelles) ne donne pas entière satisfaction. Ces deux questions « coût de la protection anti-érosive » et « nouvelles organisations économiques » structurent les pages qui suivent.

Approche coût-efficacité de la protection anti-érosive : le principe

Nous nous plaçons ici au niveau d'une démarche *ex-ante* visant à estimer l'intérêt économique de la mise en place de dispositifs de protection contre les dégâts érosifs. Par dispositif de protection on entend la combinaison de mesures agronomiques et hydrauliques. L'approche se situe au niveau du bassin versant élémentaire. Ce bassin versant élémentaire peut se définir comme le plus petit bassin sur lequel on note des dégâts dont la réduction génère *de facto* des dépenses monétaires. Notons dès à présent que, dans cette démarche, on ne prend pas en compte certains coûts, comme celui de la

³¹ Projet Diget-Cob : élaboration et mise en place de Dispositif pour la gestion de territoires générant des coulées boueuses. (2003-2007) suivi de AcTerre : Anticiper et accompagner des évolutions de territoires agricoles sensibles aux coulées boueuses (2007-2009)

perte en terre par érosion diffuse car ils ne font pas l'objet de dépenses par les agriculteurs.

Au niveau d'un bassin versant élémentaire les acteurs concernés par les coûts érosifs sont les différents agriculteurs exploitant les terres et plus particulièrement ceux situés sur les voies de concentration du ruissellement. Sont aussi concernés les acteurs non agricoles situés à l'exutoire, que ce soient des acteurs privés (résidences, ateliers et bâtiments industriels) ou publics (voiries, bâtiments, cours d'eau).

Pour instruire la question de l'évaluation des coûts de protection, j'ai initié en 1998 une collaboration avec B. Elyakime, économiste de l'INRA ESR de Toulouse. Cette collaboration a été menée dans le cadre du projet GESSOL « Maîtrise de l'érosion hydrique des sols cultivés : phénomènes physiques et dispositifs d'action » coordonné par Y. Le Bissonnais [AP-07]. La collaboration a consisté à mettre au point une méthode de travail commune puis à co-encadrer un stagiaire [MEM-07] qui a mis en œuvre cette méthode de travail sur plusieurs sites. Il m'a fallu expliquer à B. Elyakime le mode d'organisation des processus érosifs au sein du bassin versant et le rôle que jouaient l'organisation spatiale des systèmes de culture dans l'augmentation ou la réduction des risques érosifs. L'apport de B. Elyakime a été de me faire comprendre qu'il fallait traduire des approches agronomiques conceptuelles³² en chiffrage de coûts qui soient le moins éloignés possibles de la réalité agronomique et hydrologique que je connaissais. J'ai donc joué le rôle de passeur entre les agriculteurs interviewés et le modélisateur économique.

Le modèle économique proposé par B. Elyakime ([AP-07], (Elyakime and Bruno, 2000)) est un modèle de production de bien public où l'action anti-érosive est le bien public analysé. Une aide est donc donnée à tous les acteurs de la lutte anti-érosive et tous agiront pour produire ce service environnemental désiré, selon l'état propre à chacune des parcelles, dans le but d'obtenir un gain net social le plus élevé possible. Cette démarche suppose un essai de plusieurs solutions techniques et organisationnelles sur chaque parcelle agricole concernée, à partir de tous les gains et coûts recensés et de façon que globalement le flux érosif diminue. Le gain correspond à la différence des coûts liés aux dégâts érosifs avant et après mise en œuvre des mesures. En supposant le coût de la gestion de l'aide nul, le coût total pour un agriculteur est donné par la formule :

$$\text{COUT TOTAL} = \text{Dégâts érosion après aménagements} + \text{Coût installation aménagements} + \text{Manque à gagner dû à aménagements} - \text{Aide versée par l'Etat} - \text{Gain de marge dû à aménagements}$$

Mise en œuvre sur le terrain : premiers résultats

Pour alimenter ce modèle économique à partir des données de terrain, nous avons effectué des enquêtes sur 4 petits bassins versants (1 à 3 agriculteurs concernés) sur lesquels nous savions qu'il y avait eu des problèmes érosifs et sur lesquels des aménagements hydrauliques avaient été mis en place ou étaient en passe de l'être [MEM-07]. S'il est relativement aisé de connaître les coûts de mise en place d'aménagements, il est beaucoup plus difficile d'aborder celui des dégâts générés et des dégâts résiduels après aménagement que ce soit sur le territoire agricole ou en dehors de celui-ci. Sur le territoire agricole, les coûts dépendent directement des cultures concernées et des techniques mises

³² Rappelons qu'en 1998 le modèle STREAM n'existait pas. La première version de STREAM est elle-même issue du travail mené dans le projet GESSOL.

en œuvre³³. Ces coûts dépendent aussi de la fréquence de retour des événements pluvieux et de la mosaïque des états de surface au sein du bassin lors des événements pluvieux. Pour prendre en compte les dynamiques agricoles, nous avons travaillé au pas de temps de la succession de culture. Les sites étudiés généraient des dégâts chroniques (ravines, dépôts de terre) constatés chaque année sur chacune des cultures de la succession.

Un des résultats importants de ce premier travail de terrain a été de minimiser le poids, dans la variation des coûts érosifs, de la nature des cultures présentes dans la succession sur une parcelle fréquemment érodée. La connaissance de l'assolement moyen et d'une succession type peut donc suffire pour conduire une telle évaluation. Sur un plan moins agronomique, il est apparu que la rentabilité des aménagements de bassin versant était souvent limitée par le fait que certains éléments de ces aménagements n'avaient pas été installés du fait du refus de l'un ou l'autre des agriculteurs. Il a aussi été montré que la règle de subvention selon un même pourcentage du montant des travaux, quel que soit le cas, pouvait entraîner des situations très confortables pour certains agriculteurs (le coût de l'aménagement non couvert par la subvention étant inférieur au gain annuel généré pour l'agriculteur) alors que dans d'autres cas l'agriculteur était perdant du fait des coûts d'entretien qui lui incombaient sur le long terme ce qui pouvait justifier une acquisition foncière de l'emplacement de l'aménagement par la collectivité.

³³ C'est là que nos compétences d'agronome ont eu à s'exprimer. L'économiste peut repérer sans problème qu'une ravine dans une parcelle de lin aura plus d'impact que dans une parcelle de blé car la marge brute du lin est plus élevée que celle du blé. En revanche il ne saura pas percevoir qu'un simple écoulement d'eau ne générant pas d'érosion peut être très dommageable à une parcelle de lin si l'écoulement survient pendant le rouissage. Les andains de lin sont alors dispersés et ne peuvent faire l'objet d'un enroulage. Toute la surface sur laquelle s'est effectué cet écoulement est alors perdue pour l'agriculteur.

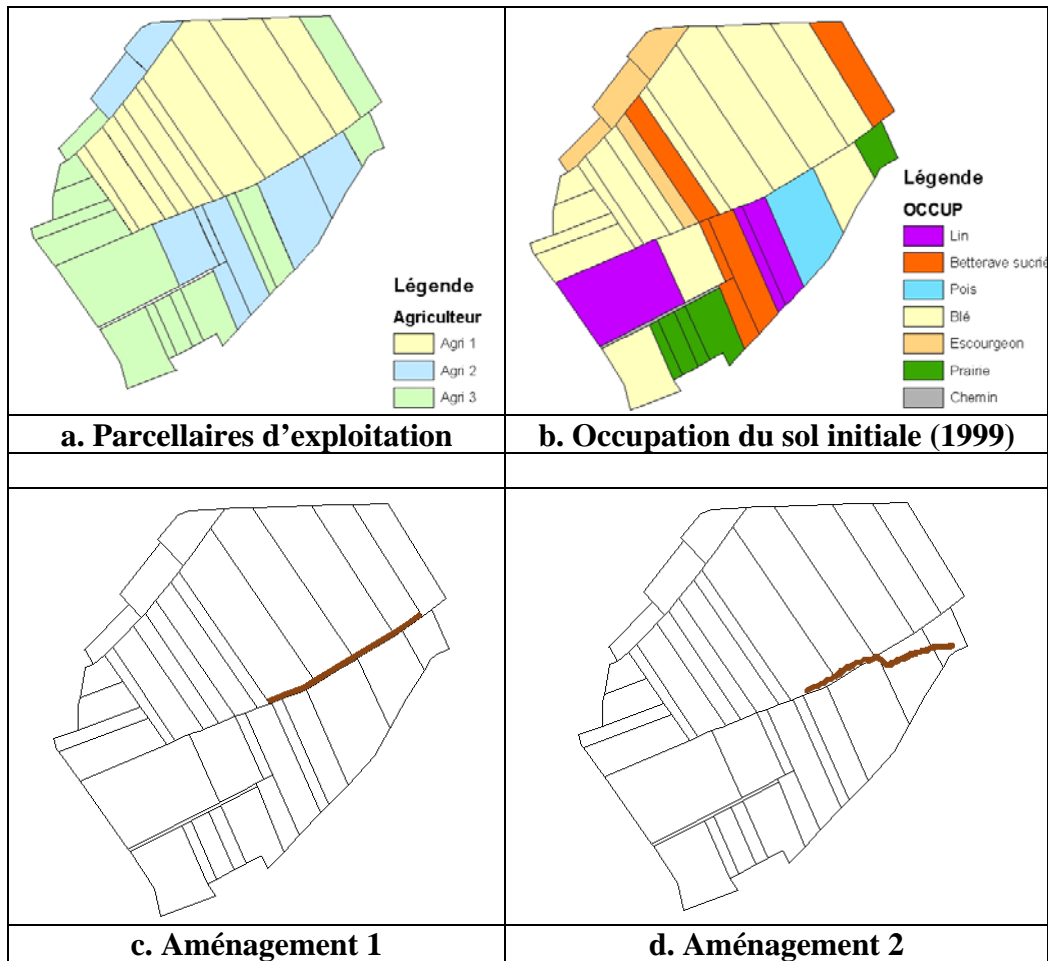


Figure 22 : Présentation du site et des scénarios d'aménagement envisagés

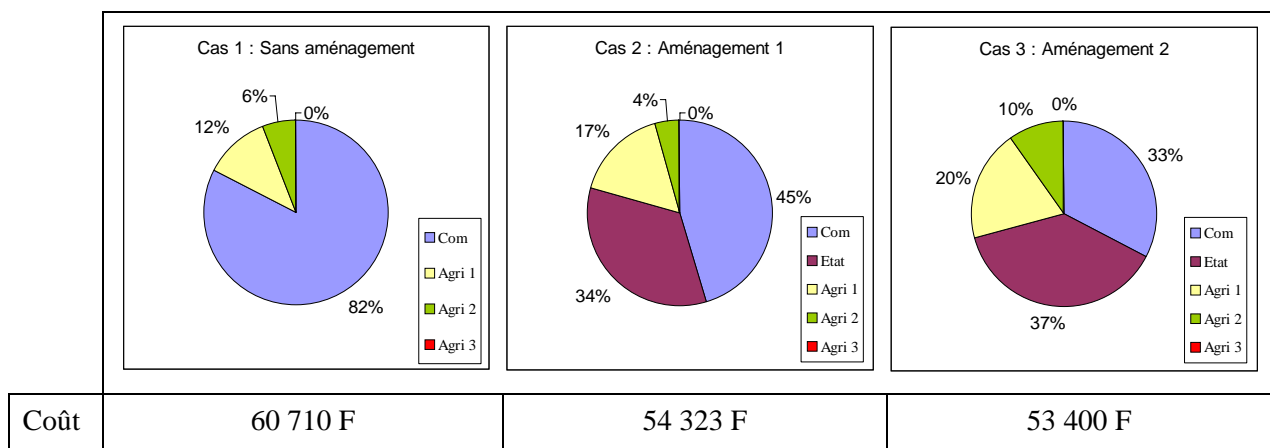


Figure 23 : Comparaison des 3 scénarios sur la base des coûts générés et de leur ventilation par acteur économique.

Couplage du modèle STREAM avec le modèle économique

Partant de ces acquis, il a été possible, en fin de projet GESSOL, d'assurer un premier couplage entre le modèle économique et le modèle STREAM qui venait d'être finalisé ([AP-07] ; [COM-16]). Le choix a été fait de raisonner sur un cas réel simplifié³⁴ pour lequel on discutait l'intérêt de deux modes de positionnement de zones en herbe dans un bassin versant : position en fourrière ou enherbement de talweg (Figure 22). Le risque climatique a été cerné par le choix de deux événements pluvieux : un de fréquence rare ne se produisant qu'une fois sur la succession de 6 années de cultures³⁵ ; l'autre plus chronique estimé avec une fréquence de 4 fois par an soit 24 fois sur la succession.

Le couplage du modèle STREAM avec le modèle économique donne les résultats synthétisés dans la Figure 23. Il apparaît que la mise en place des deux scénarios d'aménagement permet de réduire les coûts globaux. Cette réduction d'ensemble tient avant tout au gain de la collectivité lié aux aménagements réalisés par les agriculteurs avec les aides de l'état. Le scénario 2 génère le gain le plus important pour la collectivité. Malheureusement ce scénario se traduit par un accroissement des coûts pour les agriculteurs alors que le scénario 1 peut se traduire par un gain pour l'agriculteur 2 et un moindre coût pour l'agriculteur 1. Les agriculteurs, risquent donc d'opter pour le scénario 1. Une solution plus optimale consisterait à opter pour le scénario 2 avec un transfert monétaire entre la collectivité locale et les agriculteurs.

Vers une nouvelle organisation économique des acteurs liés par la circulation de l'eau

Les résultats présentés ci-dessus correspondent à des travaux auxquels j'ai directement participé. Les éléments qui suivent sont d'une autre nature puisqu'ils correspondent aux résultats de la partie économique du projet RDT Diget-Cob³¹[AP-11]. Je coordonnais ce projet mais ne suis pas intervenu directement sur le volet économique au-delà des échanges réguliers que j'organisais dans le cadre de l'animation du projet de recherche. Je présenterai rapidement les travaux menés par nos collègues économistes du bureau d'économie théorique et appliqué (BETA) de l'Université de Strasbourg qui constituent une prolongation de ce qui avait pu être mené sur GESSOL.

Le BETA s'est attaché à proposer une organisation économique capable de remplacer le système généré par la loi de 1982 sur les catastrophes naturelles. Dans le cadre de cette loi, toute personne paie une surprime forfaitaire sur ses contrats d'assurance dommages aux biens qui alimente une caisse de solidarité nationale qui permet en cas de catastrophe naturelle locale d'assurer le remboursement des dégâts occasionnés. Le taux de la surprime est fixé par l'état et relayé par les assureurs. Ce système tend à générer une déresponsabilisation des citoyens sur les lieux où s'exercent les catastrophes naturelles du fait que la collectivité nationale sera toujours présente pour rembourser les dégâts. Par ailleurs ce comportement, généralisé à l'échelon national, entraîne une augmentation du taux des surprimes (passé de 9% à 12% en 1999)³⁶.

Les travaux du BETA menés dans le cadre du projet RDT Diget-Cob s'inscrivent dans la théorie de la taxe ambiante appliquée aux problèmes environnementaux. Le principe est de faire payer une taxe forfaitaire à des acteurs économiques en fonction de l'état constaté

³⁴ La simplification portait sur la réduction du nombre d'agriculteurs exploitant le bassin (ramené à 3 au lieu d'une dizaine) et sur les successions de culture attribuées aux parcelles puisque la même succession a été utilisée. La succession a été initialisée par l'occupation du sol constatée en 1999.

³⁵ L'évènement retenu est celui qui a généré de nombreuses ravines en 1999 sur ce même site

³⁶ En 2000 l'état décide de moduler les franchises sur la présence ou l'absence de Plans de Prévention des Risques (Inondation en ce qui nous intéresse=PPRI) et sur la fréquence des déclarations de catastrophe naturelle effectuées dans une même commune.

de dégradation du milieu. Ce système a notamment été pensé par rapport à la pollution de grands lacs par plusieurs implantations industrielles situées sur les rives ou pour des cas de pollutions diffuses d'origine agricole (Segerson, 1988; Xepapadeas, 1992). Ce système incite les acteurs économiques à limiter leurs émissions et à surveiller ce que font leurs homologues afin de ne pas avoir à payer une taxe à cause de leurs mauvaises pratiques (effet réputation). Pour fonctionner ce système nécessite une délimitation claire du système physique et des pollueurs potentiels ainsi qu'un nombre de pollueurs limité pour que l'effet de réputation puisse jouer.

Après une phase pendant laquelle les collègues économistes se sont approprié la logique de fonctionnement des bassins versants (Cf. ce qui avait été fait avec B. Elyakime pour Gessol) ils nous ont proposés un modèle dérivé de la taxe ambiante pour la régulation économique des problèmes érosifs sur les bassins versants. Le système proposé consiste à faire payer une taxe ambiante aux agriculteurs d'un bassin versant sur la base des dégâts constatés en aval. Cette taxe pourrait toutefois être limitée pour les agriculteurs révélant, à leurs frais, à l'instance régulatrice, des pratiques reconnues favorables à la limitation des dégâts. Les taxes ainsi prélevées alimenteraient un fond de solidarité local. Ce fond serait aussi alimenté par le montant des assurances payées par les habitants des zones sensibles. En cas de catastrophe, ce fond servirait à indemniser les habitants mais avec application d'une franchise. Cette franchise qui vise à inciter les habitants à se protéger pourrait être réduite sur la base des aménagements de protection déclarés par les habitants.

L'efficacité économique de ce dispositif a pu être montrée par la voie de l'économie expérimentale ([AP-11]). Par ailleurs il est indéniable que ce dispositif entraîne une responsabilisation des populations locales agriculteurs et citadins confondus. Du point de vue de l'agronome on peut toutefois émettre un certain nombre de critiques. Le double découpage de l'espace fait que, contrairement à une implantation industrielle, un territoire d'exploitation agricole est souvent sur plusieurs bassins versants. La prise en compte de la surface d'exploitation dans le bassin concerné serait certainement plus indiquée que l'application d'une taxe forfaitaire par exploitation tel que formulé dans le dispositif actuel. La mise en œuvre pratique du dispositif se heurte aussi à la connaissance des coûts liés à une coulée boueuse car la taxe ambiante doit être périodiquement ré-évaluée sur la base de ces coûts. Or ces coûts ne sont actuellement connus que des assureurs qui, dans le respect de la vie privée de leurs clients, ne tiennent pas à partager l'information ([AP-12], Scarwell, travaux en cours³⁷). Par ailleurs les dégâts ont un caractère aléatoire qui nécessiterait un lissage sur plusieurs années pour le calcul de la taxe. Un dernier point très important concerne le niveau des dégâts générés dans les zones urbaines qui risque dans certaines configurations de bassins versants d'être d'une valeur très supérieure à ce que les agriculteurs et les habitants pourraient verser. Un complément de l'état risquerait d'être encore nécessaire.

³⁷ [http://www.rdrisques.org/programme/colloqued2007/folder.2008-02-11.3902388751/scarwell%20mercredi%2015%20\(version2%20\)%20janvier.ppt.pdf](http://www.rdrisques.org/programme/colloqued2007/folder.2008-02-11.3902388751/scarwell%20mercredi%2015%20(version2%20)%20janvier.ppt.pdf)

Point d'étape : nous avons initié dans cette partie un élargissement de notre système en intégrant aux agriculteurs les autres acteurs locaux qui partagent avec eux le bassin versant. La première facette de l'élargissement s'appuie sur des collaborations avec des économistes. Ceci a été l'occasion d'un retour sur nos connaissances agronomiques. Il nous a été nécessaire de mieux préciser les pratiques des agriculteurs face aux problèmes érosifs tant en préventif qu'en curatif car il était nécessaire d'en chiffrer les coûts. Cela nous a aussi conduits à relativiser certains facteurs comme la nature de la culture érodée qui dans le système érosif cauchois n'est finalement pas la variable la plus importante face aux coûts de remise en état des parcelles. Nous avons aussi montré que le couplage entre modèle économique et modèle biophysique (STREAM) permettait de discuter de l'importance et du coût des dégâts érosifs tout en donnant à voir, au travers de différents scénarios, les enjeux de la répartition de ces coûts entre les différentes parties concernées. Au-delà de l'évaluation des coûts liés à l'érosion nous avons aussi contribué par des échanges critiques à la proposition d'une nouvelle régulation économique basée sur la taxe ambiante. Notons que ce travail constituait aussi pour nous un changement de posture important puisqu'on quittait le strict champ des marges de manœuvre pour aborder celui de la flexibilité des organisations locales face à un changement de contexte lié à l'incertitude sur le devenir du dispositif catastrophes naturelles.

2. Apports de l'analyse des réseaux sociaux à la compréhension des systèmes techniques

Nous avons montré, en traitant des marges de manœuvre agronomiques, que des solutions pour réduire le ruissellement étaient possibles sans modification des règles des agriculteurs. On constate cependant que malgré une communication sur le ruissellement et l'érosion maintenue constante depuis une vingtaine d'année, le changement des pratiques n'est pas toujours au rendez-vous (Epices, 2008). Nous avons vu dans la partie précédente que les aspects économiques n'étaient pas forcément étrangers à cela mais ils n'expliquent pas tout. Ainsi, parmi les solutions agronomiques, certaines, comme les assolements concertés, nécessitent des d'interactions entre agriculteurs. Il est donc évident, en ce cas, que la dimension sociologique est à prendre en compte. D'un point de vue plus individuel, il ne faut pas perdre de vue que les interventions culturelles, au-delà des actes techniques analysés par les agronomes, sont aussi pour les agriculteurs une manière de se positionner par rapport à leurs pairs (Darré *et al.*, 1989). La dimension sociologique n'est donc pas absente non plus en ce domaine. Comme pour l'économie, la sociologie est l'occasion pour nous d'élargir les limites du système étudié en intégrant notamment les partenaires sources de conseils pour les agriculteurs ; en premier lieu desquels les animateurs agricoles de bassin versant.

La partie sur l'économie a avant tout abordé la question des aménagements hydrauliques et peu celle des pratiques culturelles³⁸. Pour la sociologie, nous ferons un retour sur les pratiques culturelles. Après avoir rappelé les collaborations directes que j'ai pu avoir avec

³⁸ Un volet du projet RDT Diget-Cob ([AP-09]) portait cependant sur la variabilité des coûts de mise en place des cultures intermédiaires en fonction des techniques mises en œuvre. Ce volet conduit par l'ESITPA de Rouen a ainsi montré une grande variabilité de ces coûts pour une efficacité environnementale équivalente. Ceci a montré que le fait de parler d'implantation de culture intermédiaire ne renvoyait pas à la même chose d'un agriculteur à l'autre (Michaud, M., Bourgain, O., 2005. Evaluation du coût de mise en place de pratiques agricoles permettant de limiter le ruissellement érosif : l'exemple des exploitations sur le plateau du Neubourg. Ingénieries 43, 33-42.)

des sociologues autour de ces questions, j'aborderai les travaux réalisés en sociologie dans le cadre du projet RDT Diget-Cob.

Recherche des déterminants des collaborations entre agriculteurs

A la fin des années 80, Poujade, (1989) encadrée par Papy avait proposé de classer les agriculteurs des sites de Fongueusemare et de Blossesville (cf partie I.A.1) selon leur mode d'occupation des bassins versants. On identifiait ainsi des exploitations « dominantes absolues » dont les surfaces étaient toutes en amont et sans problème d'érosion. A contrario on avait les « dominées absolues » dont toutes les terres étaient traversées par des talwegs. La situation intermédiaire était qualifiée de « dominantes-dominées ». Il apparaissait alors que les exploitations dominantes absolues étaient peu enclines à modifier leurs pratiques et à envisager des aménagements sur leurs parcelles alors que les autres agriculteurs semblaient être moins réticents. Pour aller au-delà de ce premier résultat, François Papy me permit en 1995 de co-encadrer le stage de fin d'études de D. Nivoit ([MEM-01]) avec un doctorant en sociologie (S. Cartier) qui travaillait sur la crise érosive du Pays de Caux (Cartier, 2002). Jusqu'alors, notre entrée sur les espaces agricoles se faisait par les bassins versants et les territoires d'exploitation. Le travail avec un sociologue me conduisit à un décentrage qui mit le territoire d'une commune au centre de l'étude. L'hypothèse sous-jacente de l'entrée par la commune était que le village permettait de prendre en compte les systèmes de relations entre un territoire, des groupes sociaux et des pratiques mises en œuvre au sein des exploitations (Darré *et al.*, 1989). Les pratiques analysées dans le travail de Nivoit étaient celles qui se référaient à la lutte contre les processus érosifs.

Ce premier travail a montré que de nombreux agriculteurs étaient touchés par les problèmes érosifs sur la commune étudiée (Doudeville). Toutefois, si chaque agriculteur semblait savoir ce qui générait du ruissellement sur ses propres parcelles il lui était plus difficile de dire d'où venait le ruissellement qui érodait ses parcelles et où allait le ruissellement qui en sortait ([ACL-08]). Il est à noter que de nombreux agriculteurs ne connaissaient même pas le nom des agriculteurs exploitant les terres autour de leurs parcelles. Sur l'ensemble des 45 agriculteurs étudiés sur la commune seuls 2 avaient engagé une démarche concertée pour mettre en place un aménagement à la limite de leurs deux parcelles. Cette rareté de collaboration entre agriculteurs pour la lutte anti-érosive s'explique par le fait que la majorité des agriculteurs exploitants les terres de Doudeville venaient d'autres communes et ne se connaissaient pas entre eux. Doudeville était en quelque sorte une commune « conquise ». Ces agriculteurs ont eux-mêmes des réseaux de collaboration qui sont extérieurs à cette commune. En fait les deux agriculteurs qui ont mis un aménagement concerté entretenaient des collaborations de travail avant de tenter de résoudre ensemble leur problème érosif. Il semblerait donc que, dans le contexte du Pays de Caux, l'érosion ne soit pas un sujet qui permette d'initier facilement des collaborations entre agriculteurs.

Vers une démarche de concertation entre agriculteurs sur des sites pilotes

Nous avons retiré de l'étude sur Doudeville qu'une collaboration entre agriculteurs autour des problèmes d'érosion était d'autant plus facile (ou moins difficile...) que les agriculteurs résidaient majoritairement sur la commune qu'ils exploitaient. Nous avons alors cherché à cartographier cet aspect en utilisant les bases de données des déclarations PAC qui commençaient à être disponibles suite à la réforme de 1992. Ces bases de

données agrègent par commune l'information sur les surfaces cultivées aidées ainsi que sur les communes d'origine des agriculteurs concernés. Il apparaissait ainsi possible d'identifier les communes conquises, ou au contraire les communes autonomes facilitant la mise en place de bassin versant pilote. Cette idée s'est toutefois heurtée à la réalité qui faisait que les découpages des communes et des bassins versants correspondaient rarement, une commune comportant souvent plusieurs bassins versants et un même bassin versant pouvant être à cheval sur plusieurs territoires communaux. L'information agrégée au niveau de la commune contenue dans les bases de données de la PAC perdait alors beaucoup de son intérêt ([ACL-08]).

Suite aux résultats de Doudeville, nous avons souhaité analyser, sur un bassin versant favorable à la gestion collective des problèmes, la manière dont les agriculteurs prenaient le problème. Un bassin versant favorable apparaissait comme un bassin exploité par des agriculteurs résidant à proximité les uns des autres et avec des relations de travail préexistantes entre eux. Ce travail mené en 1997, dans le cadre du mémoire de fin d'étude de Y. Pivain ([MEM-03]) a montré que même dans ce cas, il apparaissait difficile d'avoir des mises en place spontanées d'aménagements hydrauliques et de modification des pratiques et que ces changements devaient être accompagnés par une tierce personne que les agriculteurs concernés. Ceci plaidait donc pour la mise en place d'animateurs de syndicats de bassin versant. Ces animateurs sont, de fait, apparus 2 ans plus tard en 1999 avec la création des syndicats de bassin versant ([ACL-14]).

Les apports du projet RDT : sur les conceptions des agriculteurs

Dans le cadre du programme RDT nous avons souhaité préciser un certain nombre d'éléments que nos premières collaborations avec S. Cartier avaient mis en question. C'est pourquoi j'ai initié une collaboration avec deux sociologues de l'UMR SAD APT : A. Mathieu et F. Hochereau. Le travail d'A. Mathieu portait sur les conceptions des agriculteurs ainsi que sur le fonctionnement sociologique d'un bassin versant sur la base des façons de produire. Le travail de F. Hochereau nous permettait d'analyser un acteur fraîchement arrivé dans le paysage cauchois : l'animateur de bassin versant en faisant une analyse de ses fonctions et de la manière dont il construisait son expertise.

Conceptions d'agriculteurs et fonctionnement sociologique de bassin versant

Dans son travail sur les conceptions, A. Mathieu a mis en évidence des décalages entre les conceptions des agriculteurs et celles des chercheurs agronomes dont je faisais partie. Les agriculteurs insistent sur ce qu'ils voient, c'est à dire les vitesses d'écoulement des eaux qui arrachent la terre en fond de vallon. La solution, pour eux, est donc de freiner les écoulements. Des aménagements comme les fascines les séduisent facilement alors qu'ils ne voient pas l'intérêt de réduire la quantité de ruissellement en amont. De leur côté les chercheurs qui utilisent par exemple le modèle STREAM parlent, logiquement, des sorties du modèle à savoir des quantités de ruissellement cumulées depuis l'amont du bassin versant, oubliant parfois que le modèle ne rend pas compte de l'ensemble des mécanismes et que cela peut poser problème quand les mécanismes oubliés sont ceux qui font sens pour les agriculteurs. A. Mathieu relève aussi un point important pour les agronomes qui est que les agriculteurs assimilent directement les parcelles voisines des leurs aux agriculteurs qui les exploitent. Ils n'existent pas pour eux d'objets intermédiaires du type, « culture » ou « états de surface ». Aborder le sujet du ruissellement érosif revient à mettre en question directement leurs collègues agriculteurs et pas les états résultants des

pratiques mises en œuvre. De leur côté, les outils et modèles développés par la recherche permettent de donner à voir le bassin versant de façon moins impliquante et pourraient servir « d'objet intermédiaire » facilitant les discussions entre agriculteurs ([AP-09]), (Ingram *et al.*, 2009)).

Mathieu a aussi travaillé sur les conceptions qu'avaient les agriculteurs des différentes façons de produire et des conséquences sur l'érosion. Il ressort de ce travail qu'il y a un consensus au sein des agriculteurs pour définir les petits éleveurs comme des exploitants « à la traîne », eux-mêmes se disant « pas très intelligents ». Les pratiques de ces agriculteurs font l'objet de discrédit, mais ces mêmes exploitations sont aussi unanimement reconnues par tous les agriculteurs comme très favorables à la limitation des dégâts érosifs. Nous avons pu déduire de ce travail que certaines techniques portées par ce type d'exploitations (déchaumage à socs) et parfois mises en avant dans la lutte contre le ruissellement pouvaient pâtir de l'image négative de leurs exploitations d'origine ce qui pouvait limiter leur diffusion auprès des autres agriculteurs ([ACL-10]).

Le 3ème point du travail d'A. Mathieu portait sur le fonctionnement sociologique d'un bassin versant. Le bassin étudié était le même que celui qui avait servi de base au travail de thèse d'A. Joannon. Au-delà des réseaux de collaboration qui avait été abordés sur la commune de Doudeville 10 ans plus tôt, ce travail permis de préciser les réseaux de discussions techniques et de repérer les agriculteurs demandeurs d'informations techniques et ceux qui jouent plus un rôle de source reconnue d'informations. La spatialisation de ces réseaux a pu mettre en évidence des zones continues de production de ruissellement au sein du bassin versant sur lesquelles les agriculteurs ont déjà des discussions techniques. Convaincre l'agriculteur diffuseur d'information de ce réseau professionnel localisé pourrait faciliter les changements de pratiques des agriculteurs. Il faut toutefois relativiser ce point car les réseaux de discussion technique ne portent pas sur le ruissellement et l'érosion. Il n'est donc pas certain qu'ils fonctionnent de la même manière sur cette nouvelle thématique ((Mathieu and Joannon, 2003); [AP-11]).

Analyse des fonctions et construction de l'expertise des animateurs de bassin versant

Le besoin en animateurs de bassin versant avait été souligné dans les travaux d'étudiants que nous avons encadré ([MEM-01]; [MEM-03]). La question était de savoir si la création de cette fonction d'animateur en 1999 avait permis de résoudre les problèmes relevés antérieurement. Hochereau ([AP-11]) relève que ces animateurs sont gênés dans leur action par l'absence de mobilisation collective des agriculteurs mais aussi des structures d'encadrement de l'agriculture. Dans ce contexte les animateurs ont recours aux contrats et à la législation comme moyens d'imposer des contraintes, par le droit ou la compensation monétaire, que l'absence de concertation empêche de mettre en œuvre de façon spontanée. Selon Hochereau, la mobilisation ne pourrait être effective que si les uns et les autres se sentent pris dans un même dispositif qui les contraint à se mobiliser face à une urgence. La mise en place des syndicats de bassin versant et de leurs animateurs répondait à ce caractère d'urgence car ils ont été mis en place suite à une série d'inondations catastrophiques. Depuis quelques années le caractère d'urgence n'est plus aussi palpable et les scènes dans lesquelles les animateurs pourraient intervenir n'existent pas vraiment. Nous avons vu avec Anne Mathieu que les sorties générées par DIAR et STREAM pouvaient jouer le rôle d'objets intermédiaires pour permettre aux agriculteurs de discuter entre eux sans mise en cause personnelle. De la même manière, le travail de François Hochereau montre que les sorties de DIAR et STREAM peuvent constituer de

bons supports pour faciliter le dialogue entre les parties prenantes mais que les conditions actuelles font que les parties concernées ne discutent pas entre elles ce qui limite l'intérêt des outils proposés.

Point d'étape : l'approche sociologique a permis d'élargir le système socio-technique étudié en prenant en compte le rôle des animateurs de bassin versant et en permettant un autre regard sur les relations entre agriculteurs. La collaboration avec les sociologues a permis d'avoir un autre regard sur les solutions techniques proposées en considérant la connotation sociologique parfois négative de certaines solutions techniques proposées et en mesurant des différences de conceptions qui pouvaient exister entre chercheurs et agriculteurs sur les origines de l'érosion hydrique et les moyens d'y remédier. Cette collaboration a aussi permis de mesurer l'intérêt des modèles proposés par la recherche agronomique (STREAM et DIAR) en tant que générateur d'objet intermédiaire permettant d'assurer une discussion entre agriculteurs ou comme base d'une nouvelle culture du risque commune aux différents acteurs concernés. Malheureusement, les conditions qui prévalent en 2009 semblent limiter fortement la mobilisation de ces outils dans le Pays de Caux.

Conclusion sur l'analyse des pratiques agricoles au sein d'espaces territorialisés

Dans cette deuxième partie de notre mémoire, nous avons réfléchi à la manière dont les liens entre pratiques et trajectoires d'états pouvaient être mobilisés pour aider à la gestion des espaces territorialisés que constituent les bassins versants agricoles. Nous nous sommes d'abord placés dans une optique d'analyse des marges de manœuvre d'agriculteurs exploitant un même bassin versant. Ces marges de manœuvre ont été déclinées par rapport à l'organisation du travail et à l'organisation des successions de culture dans le territoire d'exploitation. Nous avons ainsi pu montrer que la seule mobilisation de ces marges de manœuvre agricoles permettait de réduire de 10 à 20 % les risques de ruissellement évalués grâce au modèle STREAM.

Dans le cadre de projets de recherche, et plus particulièrement dans le cadre du projet RDT Diget-Cob dont j'ai eu la responsabilité scientifique, j'ai montré comment j'avais été amené à compléter cette approche agronomique des marges de manœuvre par des collaborations avec des économistes et des sociologues. Ces collaborations m'ont permis de mieux cerner le fonctionnement des espaces territorialisés dans un but de réduction des problèmes érosifs. En retour, elles m'ont conduit à un autre regard sur les outils et méthodes de l'agronome et sur la place qu'ils peuvent prendre pour améliorer la situation environnementale au sein des espaces territorialisés. Le travail mené par le BETA sur la mise au point de nouvelles régulations économiques ainsi que le travail mené par F. Hochereau sur les animateurs de bassin versant m'a aussi conduit à réfléchir sur la mise en place de nouvelles structures de coordination entre acteurs qui dépassent la seule coordination des règles actuelles des agriculteurs ou les autres acteurs pouvant jouer sur leurs pratiques.

III. Projet de recherche : dynamique des espaces territorialisés

Dans la partie précédente, nous avons construit des espaces territorialisés en prenant en compte les territoires d'exploitation agricole concernés par un même espace écologique pertinent. Les travaux présentés dans la partie II se référaient tous au ruissellement érosif, l'espace écologique pertinent était celui du bassin versant. Les dynamiques d'états analysées étaient celles issues du temps rond et du temps long des pratiques agricoles c'est-à-dire l'évolution sur une année culturale ou sur une succession de culture (Pierret *et al.*, 1997). L'accumulation de petites modifications annuelles ou de ruptures liées à un changement profond et parfois brutal de contexte n'ont pas été pris en compte³⁹.

Partant de ces acquis, mon projet de recherche vise à préciser les logiques d'organisation des territoires agricoles et des états qui en résultent au sein des espaces écologiques pertinents en intégrant non seulement les temps ronds et longs mais aussi les temps de rupture à cette analyse. Ce projet porterait sur une thématique environnementale sur laquelle j'ai déjà beaucoup travaillé (réduction du ruissellement érosif) tout en s'étendant à une autre : maintien de la biodiversité patrimoniale.

A. Les fondements du projet de recherche

Les états des espaces écologiques sont fortement orientés par les assolements agricoles et l'occupation du sol en général (agricole/forêt/bâti). L'évolution de ces surfaces entraîne donc des impacts importants sur le milieu. Dans le Pays de Caux, depuis 1970, les importants retournements de prairies au profit des cultures et des surfaces bâties, sont à l'origine d'une partie de la crise érosive actuelle (Vivier and Douyer, 1984; Souchere *et al.*, 2003). Dans d'autres circonstances, en Poitou-Charentes les interdictions d'irrigation liées à l'application de la directive cadre eau lors des sécheresses de 2003 et 2005 ont limité l'extension du maïs irrigué et permis un certain retour des surfaces en herbe favorables à la biodiversité patrimoniale de cette zone ([SOU MIS-02], [(COM-28)])⁴⁰.

Dans un contexte de déréglementation de l'activité agricole lié à la réforme de la PAC et de changement climatique, on risque de voir se multiplier les crises et ruptures pouvant entraîner des changements rapides d'assolement et de pratiques agricoles. Notre propos est de raisonner ces ruptures du point de vue de l'agronome en intégrant les conséquences sur les espaces territorialisés. Dans les pages qui suivent, après un bref rappel des recherches conduites par la communauté scientifique sur les Land Use and Cover Changes (LUCC) je présenterai la manière dont je compte m'investir dans la prise en compte des temps longs et de rupture tout en assurant l'articulation avec le temps rond de l'activité agricole.

³⁹ Dans le travail d'A. Joannon, les marges de manœuvre des agriculteurs étaient discutées sans rien changer aux assolements des agriculteurs [(ACL-15)].

⁴⁰ Cet accroissement conjoncturel des surfaces en herbe a été fortement tamponné par la suite par la fin de la jachère obligatoire (retournement des jachères en herbe) et une série d'années sans sécheresse marquée et donc sans interdiction d'irriguer qui ont permis à une partie des agriculteurs de refaire du maïs ensilage irrigué.

1. Point rapide sur l'état des recherches sur les LUCC (Land Use Cover and Changes)

L'évolution des occupations du sol sur le mode du temps long ou du temps de rupture est fortement étudiée dans les pays du sud du fait des forts enjeux (biodiversité, sécurité alimentaire,...) qui leurs sont associés (Verburg *et al.*, 2002; Verburg *et al.*, 2006; Castella, 2007). En situation européenne, la préoccupation est plus récente mais réelle, notamment dans le cadre des scénarios de réchauffement climatique du GIEC (Rounsevell *et al.*, 2006). Ces approches pluridisciplinaires, généralement portées par des géographes (Lambin, Veldkamp, Verburg) portent sur de grands espaces (région, Pays, continent) et intègrent une reconstitution des modifications d'occupations des sols passées afin de construire un modèle statistique qui relie les paramètres économiques et physiques aux changements d'occupation du sol (Verburg *et al.*, 2002). Le test de nouveaux scénarios s'appuie donc sur les relations statistiques passées. Dans ces approches on se limite le plus souvent à de grandes classes d'occupation du sol (agricole, forêt, bâti) sans prendre en compte les aspects diversité des cultures et des successions de cultures dont on a montré qu'ils pouvaient jouer un rôle important sur les processus écologiques.

Pour dépasser cette limite, Mignolet *et al.* (2007) en travaillant sur le bassin de la Seine ont pu établir l'évolution des successions de cultures et des techniques culturales en mobilisant différentes bases de données ainsi que de la connaissance experte. Ces données ont permis de générer les entrées de modèles de lessivage d'azote et de discuter ainsi les chances d'atteindre le bon état écologique visé par la directive cadre eau (Ledoux *et al.*, 2007). Bien qu'intégrant les successions de cultures, cette approche ne répond pas totalement à nos objectifs car elle ne permet pas de prendre en compte les territoires d'exploitation qui conditionnent fortement la réponse à des changements de contexte pour des phénomènes écologiques fortement spatialisés comme le ruissellement.

D'autres recherches combinant photos aériennes et enquêtes ont permis d'établir l'historique des découpages parcellaires et de l'occupation du sol par les différentes exploitations d'une vallée des Pyrénées sur une cinquantaine d'années (Mottet *et al.*, 2006). Pour ce travail, c'est le temps rond des successions de cultures qui n'a pu être pris en compte.

A travers cette rapide présentation on note une diversité d'échelle d'analyse (du local au continental) d'objets analysés (du land cover aux techniques culturales) combinant une diversité de méthodes d'investigation (de l'analyse d'images satellites à l'enquête d'agriculteurs) et d'objectifs (reconstitution du passé, test de scénario pour le futur). Face à cette diversité il nous faut maintenant préciser notre positionnement personnel.

2. Aide à la décision publique entre prospective et modélisation d'accompagnement

Mon propos est de travailler sur les espaces écologiques pertinents. Par rapport à certains travaux évoqués dans les lignes qui précèdent je reste donc à des échelles micro-locale (quelques exploitations agricoles) jusqu'à l'échelle régionale quand la région est très fortement marquée par une thématique (cas du Pays de Caux pour l'érosion). Ma réflexion sur le temps long et le temps de rupture s'inscrit dans une dynamique d'aide à la décision publique. Elle vise à aider à prendre des décisions maintenant en ayant en tête différents futurs possibles. La question se pose alors de savoir selon quelles modalités se projeter dans ces futurs possibles. Schématiquement on peut distinguer les méthodes prospectives (Mermet, 2003) des méthodes d'accompagnement (Bousquet *et al.*, 2002). Les méthodes

prospectives visent à se projeter dans des avenir possibles ou « futuribles »⁴¹. Les résultats obtenus constituent une aide à la décision pour les commanditaires du travail qui sont le plus souvent des décideurs publics et pas directement ceux qui interviennent sur les états du milieu. Les méthodes d'accompagnement sont généralement mises en œuvre à un niveau plus local en lien étroit avec les acteurs qui interviennent physiquement sur les territoires et qui souhaitent se forger de nouvelles règles de mieux vivre ensemble au quotidien. Les moteurs pris en compte sont donc avant tout les logiques des acteurs locaux avec leurs interférences sur les objets partagés de l'espace territorialisé (Etienne *et al.*, 2003). Dans les approches prospectives, les moteurs considérés sont, pour une large part, extérieurs aux gestionnaires directs des espaces. La prise en compte des logiques techniques autres que socio-économiques n'est généralement pas faite.

Dans ce contexte, mon projet de recherche se positionne dans une démarche de prospective c'est dire que je me positionne sur des futurs possibles qui ne se limitent pas aux projets des acteurs locaux. En revanche je souhaite conserver le lien entre les scénarios issus de la démarche prospective et les conséquences spatiales au niveau des espaces écologiques tel que cela est couramment fait dans la modélisation d'accompagnement et pas dans les démarches prospectives classiques. Ceci implique de prendre en compte la manière dont la mise en place des scénarios peut se décliner au niveau des logiques techniques des agriculteurs. Ceci pose donc la question de savoir comment intégrer la diversité de logique d'exploitation agricole dans la dynamique d'évolution de territoires agricoles soumis à des scénarios prospectifs.

3. Organisation territoriale des activités agricoles en contexte changeant

Un élément important des liens entre activité agricole et conséquences environnementales tient à la manière dont les agriculteurs (1) font leurs choix de cultures et (2) les organisent dans le temps et l'espace de leur territoire d'exploitation. Maxime et al. (1995) ont montré la manière dont les agriculteurs pouvaient mettre en œuvre des successions de cultures cohérentes avec des choix d'assolement compte tenu des surfaces possibles (zones cultivables) pour chaque culture sur leur territoire d'exploitation. C'est ce modèle que nous avons déjà mobilisé dans le cadre de la thèse d'A. Joannon. Malgré son intérêt déjà montré, ce modèle présente l'inconvénient de n'intégrer aucune composante spatiale du territoire d'exploitation alors que Morlon et Benoit (1990) ont montré que l'usage des parcelles dépendait aussi de la gestion territoriale des exploitations c'est-à-dire de la manière dont un agriculteur valorise une configuration particulière de territoire d'exploitation⁴². Une autre limite du modèle de Maxime et al. réside dans son atemporalité. Dans ce modèle, les affectations de cultures et de successions de culture sont établies sans prendre en compte les décisions successives de l'agriculteur au cours d'une année culturale qui conduisent à figer progressivement l'assolement et les successions constatées quand toutes les cultures sont semées (mi mai). Par ailleurs ce modèle a été établi dans un contexte considéré comme stable et n'intègre pas les changements de contexte interannuels et la manière dont ils peuvent être ou pas intégrés dans les règles des agriculteurs. Partant de ce constat nous souhaiterions faire évoluer le modèle de Maxime

⁴¹ « Futuribles » est un terme repris par Bertrand de Jouvenel, à un jésuite du XVIIe siècle, Molina, contraction des mots « futurs » et « possibles ». Mousli, B., Roëls, C., 1995. Futuribles: naissance et histoire d'une revue de prospective. La Revue des revues, 105-116.

⁴² On peut ainsi avoir une organisation des prairies en fonction des bâtiments d'élevage et des points d'eau pour l'abreuvement des animaux. Des cultures nécessitant de nombreux traitements peuvent aussi être regroupées sur des parcelles proches pour limiter les déplacements.

et al. pour le rendre plus spatial (intégration explicite des territoires d'exploitation) et temporel (mode d'enchaînement des décisions infra annuelles et mode d'adaptation au changements de contexte).

En résumé : partant d'une analyse des travaux en cours et dans le prolongement de mes propres travaux, mon projet de recherche vise à aborder les temps de rupture au travers d'approches prospectives dont les scénarios peuvent se décliner sur des espaces écologiques pertinents jusqu'aux conséquences sur les localisations de successions de cultures des agriculteurs. Ceci nécessite des approfondissements sur les modèles de règles de décision des agriculteurs en matière d'assolement et de succession de culture.

B. Déclinaison du projet de recherche

Le projet de recherche dont nous venons de présenter les grandes lignes est basé sur deux travaux de thèse porté chacun par un programme de recherche. Ce projet de recherche a déjà été initié les résultats devraient être obtenus d'ici 1 à 3 ans.

Le premier travail de thèse, conduit par Céline Ronfort⁴³, concerne la démarche prospective et la déclinaison des scénarios sur des espaces écologiques pertinents intégrant les territoires d'exploitations. Le deuxième travail de thèse, conduit par Noémie Schaller⁴⁴, concerne la modélisation spatialement et temporellement explicite des décisions d'assolement et de succession de cultures. La thèse de C. Ronfort s'appuie sur la thématique du ruissellement érosif, celle de N. Schaller me permet d'explorer une nouvelle thématique : la biodiversité. Pour chacune de ces deux thèses je vais présenter le contexte du travail, les collaborations développées ainsi que les méthodes mises en œuvre.

1. Conception de scénarios prospectifs départementaux et application locale (Thèse C. Ronfort)

Le programme de recherche RDT Diget-Cob nous avait permis une première approche des espaces écologiques territorialisés ([AP-11]). Par ailleurs, sur la durée du programme (2004-2007) le contexte agricole avait considérablement changé. La réforme de la PAC décidée à Luxembourg en 2003 avait été mise en application avec le découplage des aides et l'éco-conditionnalité. La mise aux normes des établissements d'élevage était arrivée dans sa dernière phase fin 2005 avec des choix d'arrêt de production laitière pour certains agriculteurs. Enfin le développement économique de la Chine se traduisait par une montée spectaculaire des cours du lin textile (80% de la production de Seine-Maritime est achetée par la Chine) suivie d'une baisse tout aussi brutale (Figure 24).

Dans ce contexte il m'est paru important d'initier un nouveau programme de recherche en lien avec les partenaires de terrain. Ce programme, dont l'acronyme AcTerre signifie Anticiper et accompagner des évolutions de territoires agricoles sensibles aux coulées boueuses a reçu l'aval du ministère en charge de l'écologie et du développement durable au titre du programme RDT2⁴⁵.

⁴³ Soutenance prévue en 2010. Thèse dirigée par JM. Meynard et co-encadrée par P. Martin et V. Souchère

⁴⁴ Soutenance prévue début 2012. Thèse dirigée par P. Martin et co-encadrée par C. Aubry

⁴⁵ Deuxième volet du programme Risque Décision Territoire auquel avait élargé le projet Diget-Cob

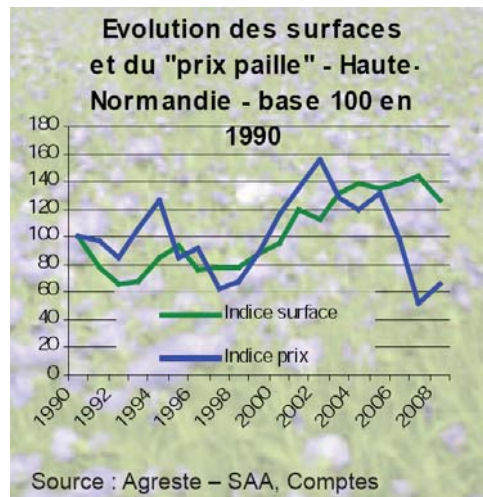


Figure 24 : Exemple de changement pendant le projet RDT Diget-Cob, variation du prix et des surfaces en lin

La thèse de C. Ronfort constitue l'élément majeur du projet AcTerre. Cette thèse vise (1) à définir des scénarios d'évolution des assolements et des systèmes de culture des agriculteurs de Seine-Maritime ; (2) à tester ces scénarios sur des petits bassins versants agricoles représentatifs des situations agricoles contrastées du Pays de Caux.

L'approche prospective mise en œuvre dans le cadre de cette thèse est la méthode SYSPAHMM⁴⁶ proposée par Sebillotte et Sebillotte (2002). Cette méthode consiste à constituer un groupe d'experts avec lequel l'équipe restreinte en charge de l'étude va successivement délimiter le système étudié, identifier les moteurs à l'œuvre au sein de ce système, faire des hypothèses sur chacun de ces moteurs et combiner ces hypothèses pour constituer des microscénarios, c'est-à-dire des ensembles d'hypothèses fortement liées entre elles. Dans notre cas, la prospective est menée à relativement courte échéance (2015). Pour mettre en œuvre cette méthode, un groupe d'experts a été constitué. Il est composé de décideurs d'experts départementaux et régionaux. L'idée que nous avions était de permettre à ce groupe de voir que les choix qu'ils faisaient en 2009 pouvaient avoir des conséquences sur la situation de 2015 en interaction avec les moteurs extra-régionaux qu'ils ne maîtrisaient pas directement.

Les scénarios élaborés avec ce groupe seront ensuite déclinés au niveau de bassins versants réels sur lesquels on aura une connaissance des territoires d'exploitation et des logiques agricoles de gestion de ces territoires. Les modifications de pratiques induites par les scénarios vont se traduire par des modifications de risque de ruissellement que nous évaluerons avec deux modèles déjà évoqués dans ce mémoire : STREAM et DIAR. Le modèle STREAM permettra d'avoir une évaluation des scénarios au niveau agrégé du bassin versant. Le modèle DIAR permettra d'avoir une vision plus analytique pour repérer les modifications par type d'exploitation agricole ou par type de systèmes de culture.

Les scénarios devraient être testés sur deux bassins versants représentatifs de situations contrastées du Pays de Caux ainsi que l'ont mis en évidence Klein et Meunier ([MEM-35]). Un premier bassin versant serait situé dans le sud du Pays de Caux dans une zone de polyculture-élevage où l'élevage bovin est très présent. Un deuxième bassin versant serait situé quant à lui en bordure littorale où l'élevage a fortement régressé au profit des

⁴⁶ SYStème, Processus, Agrégats d'Hypothèses, Micro- et Macroscénarios

cultures industrielles comme le lin et la pomme de terre. Par le choix de ces deux bassins nous faisons l'hypothèse que l'évolution des espaces territorialisés que constituent les bassins versants étudiés ne sera pas la même pour un même scénario. Certains scénarios pourraient donc générer des convergences entre les deux bassins ou au contraire générer des différences encore plus marquées.

Un retour de ces résultats est prévu en direction des acteurs de terrain qui ont participé à l'élaboration des scénarios afin de les aider à prendre conscience des conséquences des différents futurs possibles.

2. Modélisation spatialement et temporellement explicite des décisions d'assolement et de succession de culture (N. Schaller)

Un récent travail de recherche m'a conduit à investir la thématique de la biodiversité du point de vue de l'agronome des territoires. Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme ANR Agriculture et Développement Durable et plus particulièrement du projet PRAITERRE piloté par G. Lemaire de l'INRA de Lusignan ([AP-13]). Ce projet visait à analyser les conditions agronomiques, économiques et sociologiques du développement des surfaces en herbe dans la Plaine de Niort. Ce développement visait le maintien d'une espèce d'oiseau patrimoniale : l'Outarde Canepetière pour laquelle une zone Natura 2000 a été mise en place localement sous l'égide du CNRS de Chizé.

Dans le cadre de PRAITERRE, en collaboration avec A. Havet, j'ai réalisé une typologie de fonctionnement des exploitations agricoles de la plaine de Niort. Cette typologie basée sur la méthode Capillon (1993) répondait à la question de la place des surfaces en herbe (prairies et jachères) dans le fonctionnement des exploitations de la Plaine de Niort ([SOUMIS-02]). Il est à noter que le déroulement de ce travail a été marqué par deux sécheresses (2003 et 2005) ce qui nous a permis de capter la manière dont les agriculteurs de la zone ont été amenés à s'adapter à des contraintes accrues sur l'irrigation agricole ([COM-28]). Il s'agissait là d'un exemple d'évènement de rupture qui m'a amené à réfléchir sur la dynamique des espaces territorialisés.

L'expérience du projet PRAITERRE a conduit plusieurs équipes de recherche à se rassembler pour proposer un nouveau projet dans le cadre du programme ANR Biodiversité. Ce nouveau projet, intitulé BiodivAgrim, a été retenu par l'ANR. Il vise à réunir différentes approches de modélisation pour traiter des relations entre espace écologique pertinent pour la biodiversité, activité agricole et déterminants économiques de cette activité. Il réunit des écologues, des agronomes, des économistes, des géomaticiens et des géographes. C'est dans le cadre de ce projet que j'ai proposé, en lien avec ma collègue C. Aubry⁴⁷, le sujet de thèse sur lequel N. Schaller a été recrutée.

Cette thèse porte sur la modélisation conceptuelle des décisions d'assolement et de succession de cultures dans des territoires agricoles soumis à des enjeux environnementaux. L'enjeu environnemental qui sera prioritairement étudié est celui de la biodiversité. Le travail sera conduit prioritairement sur la plaine de Niort du fait des enjeux de biodiversité qui la caractérise. La plaine de Niort présente aussi l'intérêt de disposer de données préexistantes sur le fonctionnement des exploitations de la zone issues du projet PRAITERRE, et des données d'occupation du sol collectées par le CNRS sur chacune des parcelles de la zone (36 000 ha) depuis 15 ans. Sur cette zone nous avons aussi acquis les données du Registre Parcellaire Graphique qui donne l'ensemble des îlots

⁴⁷ C. Aubry est membre d'une autre équipe de l'UMR SAD APT, l'équipe Proximité qui s'intéresse elle aussi à la gestion technique d'exploitation sur la thématique de l'agriculture périurbaine.

PAC avec l'occupation du sol et la référence anonyme de l'agriculteur exploitant les terres. Cette dernière indication permet de reconstituer les territoires d'exploitations de la zone d'étude. Les données du CNRS et celles du RPG se complètent puisque le RPG donne l'information sur le territoire d'exploitation, là où le suivi du CNRS est plus précis sur l'occupation du sol de chaque parcelle d'exploitation⁴⁸.

Le travail va se faire à plusieurs échelles et pas de temps. Au niveau des exploitations individuelles, le travail va consister à analyser pour un ensemble d'exploitations, d'un *point de vue spatial* la manière dont est géré le territoire d'exploitation en termes de zones de culture pour les différentes cultures et les successions de culture qui en résultent. D'un *point de vue temporel*, on va s'intéresser aux logiques agricoles de construction des assolements sur une année culturale en repérant les stades clés de fixation des décisions pour les différentes cultures et les ajustements possibles en cours d'année. On s'intéressera aussi aux adaptations de règles liées à un changement important de contexte passé (cas des sécheresses de 2003 et 2005) ou à venir.

Le modèle conceptuel d'organisation des cultures décliné pour chacune des exploitations fera l'objet d'une traduction géomatique grâce à une collaboration avec C. Gaucherel et T. Houet (Houet *et al.*, 2009). On pourra alors modéliser le fonctionnement d'un paysage constitué d'un ensemble de parcelles agricoles, chacune étant référée à un territoire d'exploitation pouvant comporter des parcelles à l'extérieur du paysage considéré (Benoît and Papy, 1997). Le paysage réel sélectionné sera une zone d'enjeu de biodiversité sur lequel on pourra associer des modèles écologiques de développement des populations d'outardes. On sera donc dans la situation de pouvoir évaluer les conséquences des gestions de territoires agricoles actuelles ou possibles.

Conclusion sur le projet de recherche : Synergies et limites des deux volets proposés

Mon projet de recherche a été construit pour associer les approches de logique d'action exploitations agricoles au sein d'espaces écologiques pertinents dans un contexte changeant. Il présente l'intérêt d'associer une recherche fortement ancrée sur les moteurs d'évolutions des territoires agricoles (approche prospective du volet 1) et une recherche sur l'intégration des signaux extérieurs dans une logique d'action (approche gestion des assolements et des successions de culture du volet 2). Toutefois, une des difficultés de mon projet de recherche tient au découpage effectué entre les deux axes de recherche pour rendre le travail réalisable dans le cadre d'une thèse. En effet, il est clair que pour le volet 1, une déclinaison correcte des scénarios prospectifs du Pays de Caux au niveau des exploitations agricoles aurait bénéficié des sorties du volet 2 sur le modèle conceptuel d'organisation des cultures et des systèmes de culture dans l'exploitation. Inversement, les « futuribles » qui pourront être soumis aux agriculteurs pour faire émerger leur règles de gestion territoriales dans le volet 2 n'auront pas le même contenu en termes de processus et d'hypothèses mobilisés que ceux issus de la méthode SYSPAHMM dans le volet 1.

Notons qu'il existe aussi une différence importante entre les deux volets puisque pour le volet 2, l'impact des pratiques sur les processus (biodiversité) demande à être précisé et sera travaillé en lien avec les écologues. Pour le volet 1, l'impact des pratiques sur les processus environnementaux (ruissellement érosifs) a déjà fait l'objet de collaborations avec les sciences du sol ([ACL-06], [ACL-12], [ACL-17], [OS-03]) et fait maintenant directement partie du champ de mes recherches. Les travaux sur le modèle DIAR, qui

⁴⁸ Pour le RPG, l'information sur l'occupation du sol est donnée par « îlot », un même îlot pouvant de fait intégrer plusieurs parcelles d'exploitation.

traitent directement de cette question [SOU MIS-01], devraient d'ailleurs se prolonger encore quelques années notamment pour forger des indicateurs de ruissellement à d'autres échelles que le petit bassin versant agricole où toute l'information est accessible par voie d'enquête directe auprès des agriculteurs. L'objectif serait de travailler à l'échelle des syndicats de bassin versant pour fournir des outils de suivi du territoire en utilisant des bases de données (type RPG) et de connaissance experte sur les pratiques culturales dans la ligne des travaux réalisés par ailleurs sur l'azote pour l'agence de l'eau Seine-Normandie (Ledoux *et al.*, 2007; Mignolet *et al.*, 2007).

Le programme de recherche présenté dans ce mémoire se met en place au moment où mon équipe de recherche est fortement reconfigurée. En janvier 2009, l'équipe Agiterre dont j'étais responsable s'est rapprochée d'autres composantes de l'UMR SAD APT pour créer une nouvelle équipe appelée Concepts (CONCilier Environnement et Productions dans les Territoires agricoles et les Supply chains). Outre des compétences en agronomie, par rapport à Agiterre, cette nouvelle équipe permet d'accroître les collaborations avec la zootechnie et d'initier des collaborations avec les sciences de gestion. Les axes de travail de cette nouvelle équipe sont repris dans la Figure 25. Mon projet de recherche s'inscrit avant tout dans l'axe 1 à l'interface des axes 2 et 3.

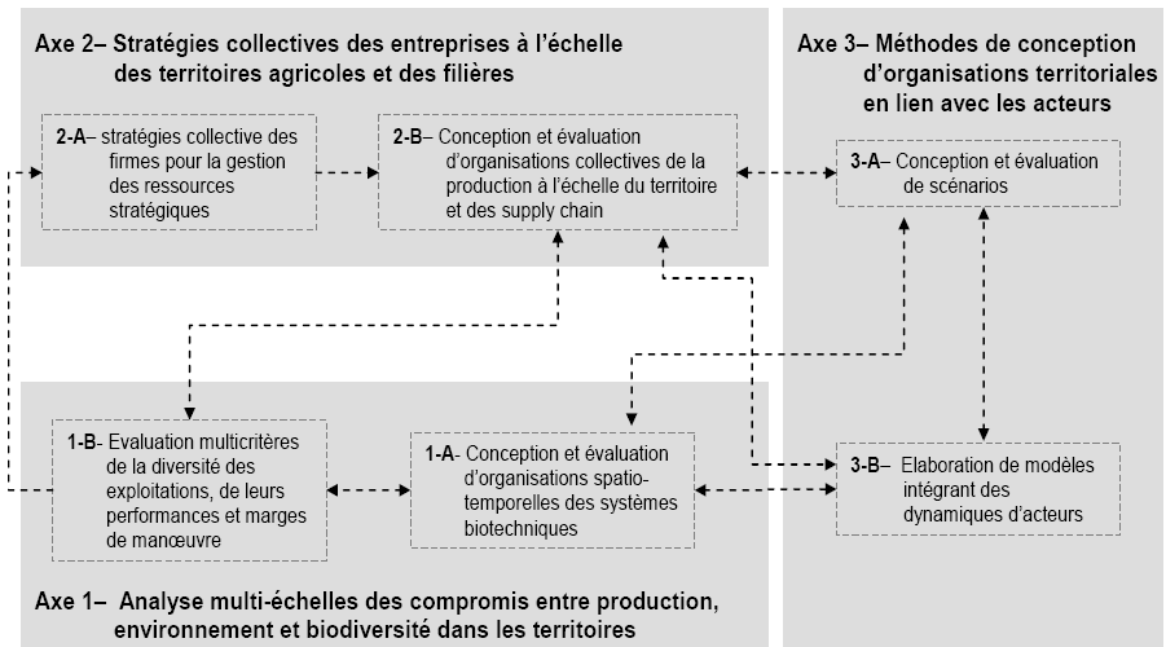


Figure 25 : Axes de travail de la nouvelle équipe Concepts.

Conclusion générale

Dans la première partie de ce mémoire je me suis concentré sur les relations entre techniques culturales et états des parcelles, considérées selon différentes thématiques environnementales, à différents pas de temps et niveaux d'échelle. J'ai mis en avant la notion de trajectoire d'états pour rendre compte des effets des pratiques au niveau de la parcelle et pour définir des périodes intéressantes quant aux états générés parce que favorables à l'objectif recherché (jardins sous cocotiers) ou au contraire parce que génératrices de risques (ruissellement en interculture). J'ai montré comment, partant des trajectoires d'états, j'avais été amené à modéliser les systèmes étudiés soit directement pour le ruissellement soit par l'intermédiaire de travaux de thèse pour la thématique des jardins sous cocotiers. J'ai aussi pu aborder des états organisés à d'autres échelles que la parcelle au travers de la dynamique de plantation de cocotiers sur l'île de Malo ou de la diversité des états et de leur évolution au sein d'un bassin versant. Sur les deux thématiques abordées, des outils d'évaluation des pratiques via les états générés ont pu être proposés. La thématique des jardins cocotiers a par ailleurs permis d'aborder le caractère multifonctionnel des parcelles cocotiers.

Dans la deuxième partie de mon mémoire, focalisée sur la thématique du ruissellement érosif, j'ai développé la notion d'espaces écologiques territorialisés avec l'exemple des petits bassins versants agricoles. J'ai d'abord considéré les territoires d'exploitations agricoles afin d'analyser les marges de manœuvre dont disposaient les agriculteurs au niveau individuel puis collectif pour réduire le ruissellement au sein du bassin versant partagé. La collaboration avec des économistes et des sociologues, menée dans le cadre de plusieurs programmes de recherche, m'a permis d'élargir cette approche des marges de manœuvre à d'autres domaines (conceptions des agriculteurs) et d'autres acteurs (animateurs et leurs degré d'expertise, collectivités et leur capacité à assumer les coûts érosifs). J'ai montré comment ces travaux ont pu être remobilisés avec les modèles développés par les agronomes⁴⁹. Cette collaboration m'a aussi permis de replacer les travaux conduits en agronomie dans le jeu des acteurs locaux pour mesurer l'intérêt des sorties des modèles agronomiques pour favoriser la recherche de solutions entre acteurs. Ces collaborations ont aussi montré le peu de demande sociale réelle de ces sorties de modèles du fait d'une moindre fréquence actuelles des inondations catastrophiques.

Ma troisième partie présente mon projet de recherche. Celui ci vise à intégrer la dynamique temporelle à l'analyse des espaces écologiques territorialisés. Ce projet s'inscrit dans une vision prospective tout en continuant à s'ancrer dans le local. A ce titre il relève de l'« Agir local, penser global »⁵⁰...à une époque où le risque est parfois de penser global pour orienter l'action locale. Ce projet présente comment les acquis des deux premières parties vont être remobilisés pour prendre en compte les temps de rupture dans l'organisation des systèmes de culture dans les territoires agricoles. Ce projet de recherche s'appuie sur deux travaux de thèse déjà initiés dont j'ai montré l'articulation. Chacun d'eux répondant à l'articulation du temps rond des pratiques agricoles avec les temps longs et de rupture de l'évolution du milieu physique et socio-économique dans lequel ces pratiques s'inscrivent.

⁴⁹ Evaluation des coûts de scénarios d'aménagement avec STREAM, utilisation des notions de communes conquises-conquérantes pour exploiter des bases de données d'occupation du sol, difficulté à s'appuyer sur des techniques (déchaumage à socs) issues d'exploitations agricoles jugées « rétrogrades » par la profession pour limiter le ruissellement.

⁵⁰ Expression attribuée à René Dubos lors du premier sommet sur l'environnement en 1972

Au moment de conclure ce mémoire, j'ai conscience du caractère encore très limité de ce projet face aux enjeux. Des variables importantes comme la reconfiguration des parcelles d'exploitation agricoles du fait des dynamiques de reprises d'exploitation ne sera pas traité dans ce projet. De même les notions présentées dans ce mémoire autour des espaces écologiques territorialisés dynamiques gagneraient certainement à être rapprochées de ce que d'autres agronomes comme M Le Bail ont pu développer autour des bassins locaux d'approvisionnement afin de mieux articuler ces différentes approches des territoires locaux vu tant sous l'angle de l'organisation de la production en quantité et qualité que sous l'angle du traitement des questions d'environnement à fort caractère spatialisé. Nul doute que la création de la nouvelle équipe Concepts devrait contribuer à ces rapprochements.

Liste Bibliographique

- Attonaty, J.M., Chatelin, M.H., Poussin, J.C., Soler, L.G., 1990. OTELO, un simulateur à base de connaissance pour raisonner équipement et organisation du travail en agriculture. In: Matarasso, P. (Ed.), Représentation, modélisation, développement. Centre d'écotechnique du CNRS, Montpellier, pp. 310-314.
- Auzet, A.V., Le Bissonnais, Y., Souchère, V., 2006. France. In: Poesen, J., Boardman, J. (Eds.), Soil erosion in Europe. Wiley, Chichester, pp. 369-384.
- Barrier, C., Klockiewicz, M., Duprix, P., 2006. Création d'un banc destiné à l'étalonnage d'appareils de mesure de ruissellement « augets basculeur » en parcelle agricole. Cah. Tech. I.N.R.A. 58, 27-34.
- Barriuso, E., Calvet, R., Cure, B., 1994. Incidence de la simplification du travail du sol sur le comportement des produits phytosanitaires : conséquences sur les risques de pollution. In: INRA (Ed.), Simplification du travail du sol, 16 mai 1991, Paris, pp. 105-124.
- Benoît, M., Mignolet, C., Herrmann, S., Rizzo, D., Moonen, C., Barberi, P., Galli, M., Bonari, E., Silvestri, N., Thenail, C., Lardon, S., Rapey, H., Marracini, E., Le Ber, F., Meynard, J.M., 2007. Landscape as designed by farming systems: a challenge for landscape agronomists in Europe. Farming system design an international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems Catania, pp. 137 bis-138 bis.
- Benoît, M., Papy, F., 1997. Pratiques agricoles et qualité de l'eau sur le territoire alimentant un captage. In: Riou, C.B.R.C.P.N.A.P.F. (Ed.), L'eau dans l'espace rural. INRA Editions, Versailles, pp. 323-336.
- Benoît, M., Papy, F., 2000. La place de l'agronomie dans la problématique environnementale. Les dossiers de l'environnement, INRA, 67-70.
- Bertrand, G., Terrasson, D., 2004. Georges Bertrand, un géographe interroge l'agronomie. Natures Sciences Sociétés, 424-429.
- Boardman, J., Ligneau, L., Deroo, A., Vandaele, K., 1994. Flooding of property by runoff from agricultural land in Northwestern Europe. Geomorphology 10, 183-196.
- Boiffin, J., 1984. La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies. Paris, Thèse de docteur ingénieur. INAPG. , p. 320.
- Boiffin, J., Monnier, G., 1985. Infiltration rate as affected by soil surface crusting caused by rainfall. International symposium on the assessment of soil surface sealing and crusting. Ghent, Belgium 1985, pp. 210-217.
- Boiffin, J., Papy, F., Eimberck, M., 1988. Influence of cropping systems on concentrated flow erosion risks. 1. Analysis of the conditions for initiating erosion. Agronomie 8, 663-673.
- Boiffin, J., Sebillotte, M., 1976. Climat, stabilité structurale et battance. Essai d'analyse d'un comportement au champ. Annales Agronomiques 27, 295-325.
- Bonnemaison, J., 1974. Espaces et paysages agraires dans le nord des Nouvelles Hébrides, l'exemple des îles d'Aoba et de Maewo (étude de géographie agraire). JSO 44-45, 153-281.

- Bonnemaison, J., 1996. Gens de pirogues et gens de la terre. Les fondements géographiques d'une identité, l'archipel du Vanuatu. Livre 1. ORSTOM Editions, Paris.
- Bousquet, F., Barreteau, O., d'Aquino, P., Etienne, M., Boissau, S., Aubert, S., Le Page, C., Babin, D., Castella, J.C., 2002. Multi-agent systems and role games: collective learning processes for ecosystem management. *Complexity and Ecosystem Management*, 248-285.
- Bresson, L.M., Boiffin, J., 1990. Morphological characterization of soil crust development stages on an experimental field. *Geoderma* 47, 301-325.
- Burel, F., Baudry, J., 1999a. *Écologie du paysage. Concepts, méthodes et applications*. TEC & DOC, Paris.
- Burel, F., Baudry, J., 1999b. *Ecologie du paysage: concepts, méthodes et applications*. Lavoisier, Paris.
- Capillon, A., 1993. Typologie des exploitations agricoles, contribution à l'étude régionale des problèmes techniques. Thèse de docteur de l'INA P-G. Tome 1. Paris, p. 48.
- Capillon, A., David, G., Havet, A., 1988. Typologie des exploitations et diagnostic sur l'assolement fourrager. Cas du marais de Rochefort. *Fourrages* 113, 15-36.
- Carof, M., de Tourdonnet, S., Saulas, P., Le Floch, D., Roger-Estrade, J., 2007. Undersowing wheat with different living mulches in a no-till system. I. Yield analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 27, 347-356.
- Caron, P., 1997. Le zonage régional à dire d'acteurs. Connaître, représenter, planifier, agir, une méthodologie expérimentée dans le Nordeste du Brésil. Quelle géographie au CIRAD ? Document de travail du CIRAD-SAR 10. Montpellier : CIRAD, pp. 145-156.
- Caron, P., 2005. À quels territoires s'intéressent les agronomes ? Le point de vue d'un géographe tropicaliste. *Nature Science et Société* 13, 145-153.
- Cartier, S., 2002. Chronique d'un déluge annoncé, crise de la solidarité face aux risques naturels. Grasset.
- Castella, J.C., 2007. Transitions agraires et dynamiques environnementales en Asie du Sud-Est: d'une gestion de projet à une gouvernance des territoires. Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse. Spécialité Géographie., p. 218.
- Cerdan, O., Souchere, V., Lecomte, V., Couturier, A., Le Bissonnais, Y., 2002. Incorporating soil surface crusting processes in an expert-based runoff model: Sealing and Transfer by Runoff and Erosion related to Agricultural Management. *Catena* 46, 189-205.
- Chaplot, V., Le Bissonnais, Y., 2000. Field measurements of interrill erosion under different slopes and plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms* 25, 145-153.
- Cochard, F., Willinger, M., Xepapadeas, A., 2005. Efficiency of nonpoint source pollution instruments: An experimental study. *Environ. Resour. Econ.* 30, 393-422.
- Cogo, N.P., Moldenhauer, W.C., Foster, G.R., 1984. Soil loss reductions from conservation tillage practices. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 48, 368-373.

- Colas, H., 1997. Association de cultures cocotier-cacaoyer: modélisation de leur système racinaire, études préliminaires sur l'interaction racinaire et la consommation en eau des deux plantes. PhD in physiology, biology of organisms and populations. University of Montpellier II, p. 260.
- Darré, J.P., Le Guen, R., Lémercy, B., 1989. Changements techniques et structures professionnelles locales en agriculture. *Economie Rurale*, 115-122.
- Dauzat, J., Eroy, M.N., 1997. Simulating light regime and intercrop yields in coconut based farming systems. *European Journal of Agronomy* 7, 63-74.
- Dedieu, B., Chia, E., Leclerc, B., Moulin, C.H., Tichit, M. (Eds.), 2008. L'élevage en mouvement: flexibilité et adaptation des exploitations d'herbivores. Quae, Versailles.
- Deffontaines, J.P., 1998. Les sentiers d'un géoagronome. Textes réunis par Benoît et al. Arguments, Paris.
- Doré, T., 2000. Contribution à la recherche sur les systèmes de culture: diagnostic agronomique régional et maîtrise des effets précédents, Mémoire d'HDR, INPL, Université de Nancy-Metz. p. 104.
- Duru, M., Papy, F., Soler, L.G., 1988. Le concept de modèle général et l'analyse du fonctionnement de l'exploitation agricole. *C. R. Acad. Agri.* 74, 81-91.
- Elevitch, C.R., Wilkinson, K.M., 2000. Agroforestry guide for Pacific Islands. <http://www.agroforestry.net/afg/book.html>.
- Elyakime, B., Bruno, J.F., 2000. Gestion de la lutte contre une érosion de versant avec dégâts sur site public. *Economie Rurale* 05-06, 67-77.
- Epices, 2008. Analyse des freins et moteurs à la mise en place de pratiques anti-érosives sur le Bassin Versant de l'Yères. Rapport final. Syndicat Intercommunal du bassin versant de l'Yères et de la Côte, p. 71.
- Etienne, M., Le Page, C., Cohen, M., 2003. A Step-by-step Approach to Building Land Management Scenarios Based on Multiple Viewpoints on Multi-agent System Simulations *Journal of artificial societies and social simulation* 6.
- Evrard, O., Biélders, C.L., Vandaele, K., van Wesemael, B., 2007. Spatial and temporal variation of muddy floods in central Belgium, off-site impacts and potential control measures. *Catena* 70, 443-454.
- Freebairn, D.M., Gupta, S.C., Rawls, W.J., 1991. Influence of aggregate size and microrelief on development of surface soil crusts. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 55, 188-195.
- Gliessman, S.R., 1998. Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. Ann Arbor Press, Chelsea.
- Gril, J., Duvoux, B., 1991. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion. Conditions d'adaptation des méthodes américaines CEMAGREF DICOVA, p. 157.

- Heitz, C., Spaeter, S., Auzet, A.-V., Glatron, S., 2009. Local stakeholders' perception of muddy flood risk and implications for management approaches: A case study in Alsace (France). *Land Use Policy* 26, 443-451.
- Hénin, S., Gobillot, T., 1950. L'érosion en France. *Bulletin Technique d'Information* 50, 431-433.
- Hervé, D., 2008. Réponse d'un agronome aux géographes. *Journées Jean-Pierre Deffontaines*, Paris, p. 7.
- Houet, T., Gaucherel, C., Giboire, N., 2009. Sous presse. Simulation dynamique et spatialement explicite d'un paysage agricole bocager. *Revue Internationale de Géomatique* X, XX.
- IFEN, 2007. Les pesticides dans les eaux. Données 2005. Les dossiers de l'IFEN 9, 37 pages.
- Ingram, J., Fry, P., Mathieu, A., 2009. Revealing different understandings of soil held by scientists and farmers in the context of soil protection and management. *Land Use Policy*.
- Ingrand, S., Bardey, H., Brossier, J., 2004. Flexibility of suckler farms in the face to uncertainty within the beef industry: a proposed definition. Sixth IFSA European Symposium. Farming and Rural Systems Research and Extension. European Farming and Society in Search of a New Social Contract - Learning to Manage Change. 4-7 April 2004. .
- INRA, 2002. Expertise scientifique collective. Rapport d'expertise réalisé par l'INRA à la demande du ministère de l'Ecologie et du développement durable. Paris, p. 332.
- Jetten, V., FavisMortlock, D., 2006. Modelling soil erosion in Europe 805p. In: Poesen, J., Boardman, J. (Eds.), *Soil erosion in Europe*. Wiley, pp. 695-716.
- Johnson, C.B., Mannering, J.V., W.C., M., 1979. Influence of surface roughness and clod size and stability on soil and water losses. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 43, 772-777.
- Jourdan, C., Rey, H., 1997. Modelling and simulation of the architecture of the oil-palm (*Elaeis guinensis* Jacq.) root system. I The model. *Plant Soil* 190, 217-233.
- Lambin, E.F., Geist, H., 2006. *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*.
- Lardon, S., Caron, P., Benoît, M., 2008. De la géo-agronomie à l'agronomie des territoires: un parcours, des étapes-clés et des prolongements., *Journées Jean-Pierre Deffontaines*, Paris, p. 16.
- 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 : Deuxième édition des entretiens du Pradel*. L'Harmattan, Paris, pp. 213-228.
- Le Villio, M., Arrouays, D., Deslais, W., Daroussin, J., Le Bissonais, Y., Clergeot, D., 2001. Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné *Etude et gestion des sols* 8, 47-63.

- Ledoux, E., Gomez, E., Monget, J.M., Viavattene, C., Viennot, P., Ducharne, A., Benoit, M., Mignolet, C., Schott, C., Mary, B., 2007. Agriculture and groundwater nitrate contamination in the Seine basin. The STICS-MODCOU modelling chain. *Science of the Total Environment* 375, 33-47.
- Loyce, C., Wery, J., 2006. Les outils des agronomes pour l'évaluation et la conception de systèmes de culture. In: Doré, T., Le Bail, M., Martin, P., Ney, B., Roger-Estrade, J. (Eds.), *L'agronomie aujourd'hui*. Quae, Versailles, pp. 77-95.
- Ludwig, B., 1992. L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du Nord du Bassin Parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire. . Thèse Uni. Louis Pasteur Strasbourg. CEREG-URA95 CNRS, INRA Laon Péronne, p. 155.
- Mah, M.G.C., Douglas, L.A., Ringrose-Voase, A.J., 1992. Effects of crust development and surface slope on erosion by rainfall. *Soil Sci.*, 154, 37-43.
- Marchesnay, M., 2004. Note introductive: les flexibilités de l'entreprise. In: Chia, E., Dedieu, B., Moulin, C.H., Tichit, M. (Eds.), "Transformation des pratiques techniques et flexibilité des systèmes d'élevage". Séminaire INRA SAD TRAPEUR, Agro M., Montpellier, 15 - 16 mars 2004.
- Mathieu, A., Joannon, A., 2003. How farmers view their job in Pays de Caux, France - Consequences for grassland in water erosion. *Environ. Sci. Policy* 6, 29-36.
- Maxime, F., Mollet, J.M., Papy, F., 1995. Aide au raisonnement de l'assolement en grande culture. *Cahiers Agricultures* 4, 351-362.
- Meek, B.D., Rechel, E.A., Carter, L.M., DeTar, W.R., 1989. Changes in infiltration under Alfalfa as influenced by time and wheel traffic. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 53, 238-241.
- Mermet, L., 2003. Prospectives pour l'environnement. Quelles recherches? quelles ressources? quelles méthodes? La documentation française.
- Meynard, J.M., 2008. Produire autrement : réinventer les systèmes de culture. In: Educagri (Ed.), *Des systèmes de culture innovants et durables : quelles méthodes pour les mettre au point et les évaluer ?*. Reau, R. Doré, T., Dijon, pp. 11-28.
- Michaud, M., Bourgain, O., 2005. Evaluation du coût de mise en place de pratiques agricoles permettant de limiter le ruissellement érosif : l'exemple des exploitations sur le plateau du Neubourg. *Ingénieries* 43, 33-42.
- Mignolet, C., Schott, C., Benoit, M., 2007. Spatial dynamics of farming practices in the Seine basin: Methods for agronomic approaches on a regional scale. *Science of the Total Environment* 375, 13-32.
- Milleville, P., 1984. Acte technique et itinéraire technique: une méthode d'enquête à l'échelle du terroir villageois. *Cah. rech. dev.* 3-4, 77-83.
- Moore, D.C., Singer, M.J., 1990. Crust formation effects on soil erosion processes. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 54, 1117-1123.

- Morlon, P., Benoit, M., 1990. Etude morphologique d'un parcellaire d'exploitation agricole en tant que système. *Agronomie* 10, 499-508.
- Mottet, A., Ladet, S., Coque, N., Gibon, A., 2006. Agricultural land-use change and its drivers in mountain landscapes: A case study in the Pyrenees. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114, 296-310.
- Mousli, B., Roëls, C., 1995. Futuribles: naissance et histoire d'une revue de prospective. *La Revue des revues*, 105-116.
- N'Dienor, M., Dabat, M.H., Ramananarivo, R., Randriamiharisoa, F., Rajoelison, J., Aubry, C., 2005. A trend towards urban integration and organization of the tomato subsector in Antananarivo, Madagascar. In: Batt, P.J. (Ed.), 1st International Symposium on Improving the Performance of Supply Chains in the Transitional Economics. International Society Horticultural Science, Chiang Mai, THAILAND, pp. 317-326.
- Nair, P.K.R., 1979. Intensive multiple cropping with coconuts in India. Parey, Berlin.
- Nair, P.K.R., 1993. An introduction to Agroforestry. Kluwer, Dordrecht.
- Navarrete, M., Bail, M.I., Papy, F., Bressoud, F., Tordjman, S., 2006. Combining leeway on farm and supply basin scales to promote technical innovations in lettuce production. *Agronomy for Sustainable Development* 26, 77-87.
- Nearing, M.A., Jetten, V., Baffaut, C., Cerdan, O., Couturier, A., Hernandez, M., Le Bissonnais, Y., Nichols, M.H., Nunes, J.P., Renschler, C.S., Souchere, V., van Oost, K., 2003. Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. Meeting of the Soil-Erosion-Network. Elsevier Science Bv, Tucson, AZ, pp. 131-154.
- Ouvry, J.F., 1992. L'évolution de la grande culture et l'érosion des terres dans le Pays de Caux. *Paris. Bull. Assoc. Géogr. Franç.* 2, 107-113.
- Papy, F., 2001. Pour une théorie du ménage des champs : l'agronomie des territoires. Les entretiens du Pradel, 1^{ère} édition « Autour d'Olivier de Serres : pratiques agricoles et pensées agronomiques », Partie Agronomique. *C.R. Acad. Agri* 87, 139-149.
- Papy, F., Attonaty, J.M., Laporte, C., Soler, L.G., 1988. Work organization simulation as a basis for farm-management advice (equipment and manpower, level against climatic variability). *Agricultural Systems* 27, 295-314.
- Papy, F., Boiffin, J., 1988. Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. 2. Evaluation des possibilités de maîtrise dans les exploitations agricoles. *Agronomie* 8, 745-756.
- Papy, F., Douyer, C., 1991. Influence des états de surface du territoire agricole sur le déclenchement des inondations catastrophiques. *Agronomie* 11, 201-215.
- Papy, F., Poujade, C., Souchère, V., 1991. Maîtrise du ruissellement et de l'érosion sur un territoire agricole (le double découpage de l'espace). *Gestion de l'espace rural et systèmes d'information géographique. Séminaire INRA Florac, 22-24, octobre 1991.*, pp. 167-176.
- Papy, F., Torre, A., 2002. Quelles organisations territoriales pour concilier production agricole et gestion des ressources naturelles ? *Etud. Rech. Syst. Agraires Dév.*, 151-169.

- Pierret, P., Deffontaines, J.P., Landais, E., 1997. Le temps long et le temps rond des paysages agricoles. *Le temps de l'environnement*, pp. 71-81.
- Pihan, J., 1978. Risques climatiques d'érosion hydrique des sols en France. *Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen*. Strasbourg/Colmar 20-23 sept 78. Université Louis Pasteur, INRA Colmar, pp. 13-18.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Murz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267, 1117-1122.
- Planchon, O., Darboux, F., 2002. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models. *Catena* 46, 159-176.
- Planchon, O., Esteves, M., Silvera, N., Lapetite, J.M., 2002. Microrelief induced by tillage: measurement and modelling of Surface Storage Capacity. *Catena* 46, 141-157.
- Poesen, J.W.A., Bryan, R.B., 1989-90. Influence de la longueur de pente sur le ruissellement : rôle de la formation de rigoles et de croûtes de sédimentation. *Cah. ORSTOM, sér. Pédol.*, XXV, 71-80.
- Poujade, C., 1989. La maîtrise du ruissellement et de l'érosion par concentration du ruissellement par les pratiques agricoles à l'échelle d'un bassin versant (approche méthodologique). Mémoire DAA, INAPG., p. 62 p + annexes.
- Pretty, J.N., Brett, C., Gee, D., Hine, R.E., Mason, C.F., Morison, J.I.L., Raven, H., Rayment, M.D., van der Bijl, G., 2000. An assessment of the total external costs of UK agriculture. *Agricultural Systems* 65, 113-136.
- Raffestin, C., 1980. Pour une géographie du pouvoir. Litec, Paris.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araujo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaanpaa, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P., Tuck, G., 2006. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agric. Ecosyst. Environ.* 114, 57-68.
- Schuler, J., Kächele, H., 2003. Modelling on-farm costs of soil conservation policies with MODAM. *Environ. Sci. Policy* 6, 51-55.
- Sebillotte, M., 1974. Agronomie et agriculture, analyse des tâches de l'agronome. *Cah. Orstom série Biologie*, 3-25.
- Sebillotte, M., 2005. Agronomes et territoires. Les trois métiers des agronomes. In: Prevost, P. (Ed.), *Agronomes et territoires*. Deuxième édition des entretiens du Pradel. L'harmattan Biologie, écologie et agronomie, pp. 25-34.
- Sebillotte, M., Sebillotte, C., 2002. Recherche finalisée, organisations et prospective : la méthode prospective SYSPAHMM (SYStème, Processus, Agrégats d'Hypothèses, Micro- et Macros scénarios). *OCL-Ol. Corps Gras Lipides* 9, 329-345.

- Sebillotte, M., Soler, L.G., 1990. Les processus de décision des agriculteurs: I. Acquis et questions vives. . In: Brossier, J., Vissac, B., Le Moigne, J.L. (Eds.), *Modélisation systémique et système agraire*. INRA, Paris, pp. 93-116.
- Segerson, K., 1988. Uncertainty and incentives for nonpoint pollution control. *Journal of Environmental Economics and Management* 15, 87-98.
- Sojka, R.E., Langdale, G.W., Karlen, D.L., 1984. Vegetative techniques for reducing water erosion of cropland in the southeastern United States. *Advances in Agronomy* 37, 155-181.
- Souchère, 1995. *Modélisation spatiale du ruissellement à des fins d'aménagement contre l'érosion de talweg. Application à des petits bassins versants en Pays de Caux (Haute-Normandie)*. INA P-G, Paris, p. 200.
- Souchère, 2009. *Modélisation du ruissellement érosif sous SIG. Cours AgroParisTech master Agronomie*, p. 69 dias.
- Souchere, V., King, C., Dubreuil, N., Lecomte-Morel, V., Le Bissonnais, Y., Chalat, M., 2003. Grassland and crop trends: role of the European Union Common Agricultural Policy and consequences for runoff and soil erosion. *Environ. Sci. Policy* 6, 7-16.
- Torre, A., Aznar, O., Bonin, M., Caron, A., Chia, E., Galman, M., Guérin, M., Jeanneaux, P., Kirat, T., Lefranc, C., Melot, R., Paoli, J.C., Salazar, M.I., Thinon, P., 2006. Conflits et tensions autour des usages de l'espace dans les territoires ruraux et périurbains. Lecas de six zones géographiques françaises. *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, 415-453.
- Trévisan, D., 1986. Comportement hydrique et susceptibilité à l'érosion de sols limoneux cultivés. Etude expérimentale au champ sous pluies simulées. Thèse docteur 3ème cycle, Univ. Orléans, Orléans, p. 244.
- USDA-SCS, 1986. *Urban Hydrology for Small Watersheds TR-55*. p. 164.
- Valentin, C., Bresson, L.M., 1992. Morphology, genesis and classification of surface crusts in loamy and sandy soils. *Geoderma* 55, 225-245.
- Verburg, P.H., Kok, K., Pontius, R.G., Veldkamp, A., 2006. Modeling land-use and land-cover change. *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*, 117-135.
- Verburg, P.H., Soepboer, W., Veldkamp, A., Limpiada, R., Espaldon, V., Mastura, S.S.A., 2002. Modeling the spatial dynamics of regional land use: The CLUE-S model. *Environmental Management* 30, 391-405.
- Vivier, M., Douyer, C., 1984. Evolution de la géographie pastorale du Pays de Caux. Colloque sur le devenir du paysage cauchois, Cité de l'agriculture, Bois-Guillaume.
- Warner, K.D., 2008. Agroecology as Participatory Science Emerging Alternatives to Technology Transfer Extension Practice. *Science Technology & Human Values* 33, 754-777.
- Weightman, B., 1989. *Agriculture in Vanuatu. An Historical Review*. Cheam (Royaume-Uni) : The British Friends of Vanuatu.

Wéron, J., 2007. La moitié de la population mondiale vit en ville. *Population & société*, 1-4.

Xepapadeas, A.P., 1992. Environmental policy design and dynamic nonpoint-source pollution. *Journal of Environmental Economics and Management* 23, 22-39.

Annexe

Liste des publications par rubriques

Rappel des codes utilisés avec « XX »=numéro de la référence :

[ACL-XX] : Articles dans des périodiques à comité de lecture, chapitre d'ouvrage ou ouvrage reconnu internationalement

[SOUMIS-XX] : Articles soumis à des revues à comité de lecture

[PREP-XX] : Article en préparation pour des revues à comité de lecture

[DO-XX] : direction d'ouvrage

[OS-XX] : chapitres d'ouvrage scientifique

[ACT-XX] : actes de colloque publiés avec comité de lecture

[COM-XX] : communications à des colloques et posters avec comité de lecture

[COM-SC-XX] : articles dans revues et communications à des colloques sans comité de lecture

[ENS-XX] : communications liées à l'enseignement

[THESE] : thèse de P. Martin

[THES-XX] : thèse co-encadrées soutenues

[THES-EC-XX] : thèse en cours non encore soutenue

[AP-XX] : autre publications

[MEM-XX] : mémoires et travaux d'étudiants encadrés

Articles dans des périodiques à comité de lecture, chapitre d'ouvrage ou ouvrage reconnu internationalement

- [ACL-01] Gallien E., Le Bissonnais Y., Eimberck M., Benkhadra H., Ligneau L., Ouvry J.F., **Martin P.**, 1995. Influence des couverts végétaux de jachère sur le ruissellement et l'érosion diffuse en sol limoneux cultivé. *Cahiers Agricultures* ; 4 : 171-83.
- [ACL-02] Le Bissonnais Y., Benkhadra H., Gallien E., Eimberck M., Fox D., **Martin P.**, Douyer C., Ligneau L., Ouvry J.F., 1996. Genèse du ruissellement et de l'érosion diffuse sur sols limoneux : analyse du transfert d'échelle du m² au bassin -versant élémentaire agricole. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°3, pp 51-64.
- [ACL-03] **Martin P.**, Le Bissonnais Y., Benkhadra H., Ligneau L., Ouvry J.F., 1997. Mesures du ruissellement et de l'érosion diffuse générés par les pratiques culturales en Pays de Caux (Normandie). Colloque crues versants et lits fluviaux, 22-24 mars 1995 à Paris. *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, n°2 pp. 143-154.
- [ACL-04] **Martin P.**, Papy F., Souchère V., Capillon A., 1998. Maîtrise du ruissellement et modélisation des pratiques de production. *Cahiers agriculture*; 7 pp. 111-19.
- [ACL-05] **Martin P.**, 1999 (1). Reducing sediment laden agricultural runoff flood risk using intercrop management techniques in northern France. *Soil and Tillage Research*, 52, 233-245.
- [ACL-06] Cerdan O., Le Bissonnais Y., Souchère V., **Martin P.** & Lecomte V., 2002. Sediment concentration in interrill flow: interactions between soil surface conditions, vegetation and rainfall. *Earth Surface Processes and Landforms*, 27, n°2, 193-205.
- [ACL-07] Pivrot J.M., Josien E., **Martin P.**, 2002. Farms adaptation to changes in flood risk : a management approach. *Journal of Hydrology*, 267, 1-2, 12-25.
- [ACL-08] Joannon A., Torre A., Souchère V., **Martin P.**, 2004. The determinants of local collective action regarding erosive runoff. An analysis of farmers' geographical proximities in Upper-Normandy, France. *International Journal of Sustainable Development*, 3, 302-320.
- [ACL-09] Lamanda N., Malézieux E., **Martin P.**, 2004. Organisation spatiale et dynamiques des systèmes de culture à base cocotier (*Cocos nucifera* L.) dans les îles mélanésiennes : le cas de Malo (Vanuatu). *Cahiers Agricultures*. 13, 459-466.
- [ACL-10] **Martin P.**, Joannon A., Souchère V., Papy F., 2004. Management of soil surface characteristics for soil and water conservation, case of a silty loam region : the Pays de Caux. *Earth Surface Processes and Landforms*, 29, 1105-1115.
- [ACL-11] Joannon, A., Papy, F., **Martin, P.** & Souchère, V., 2005. Planning work constraints within farms to reduce runoff at catchment level, *Agriculture Ecosystems and Environnement*, 111, 13-20.
- [ACL-12] Le Bissonnais Y., Cerdan O., Lecomte V., Benkhadra H., Souchère V., **Martin P.**, 2005. Variability of soil surface characteristics influencing runoff and interrill erosion. *Catena*, 62 111-124.
- [ACL-13] Lamanda N., Malézieux E., **Martin P.** 2006. Structure and dynamics of coconut-based agroforestry systems in Melanesia : a case study from the Vanuatu archipelago. In "tropical homegardens. A time tested example of sustainable agroforestry" (Kumar ed) "*Advances in agroforestry*" XIII.377 pages (chapter 7 p. 105-121)
- [ACL-14] Fullen M.A., Arnalds A., Bazzoffi P., Booth C.A., Castillo V., Kertesz A., **Martin P.**, Ritsema C., Sole Benet A., Souchère V., Vandekerckhove L., Verstraeten G. 2006. Government and Agency Response to Soil Erosion Risk in Europe. In "*Soil erosion in Europe*". Poesen J.& Boardman J Editors, ed. Wiley. 805 p. pp 805-828.
- [ACL-15] Joannon A., Souchère V., **Martin P.**, Papy F., 2006. Reducing runoff by managing crop location at the catchment level: considering agronomic constraints at farm level. *Land Degradation and Development*. 17, 5. 467-478.
- [ACL-16] Lamanda N., Dautat J., Jourdan C., **Martin P.**, Malézieux E., 2007 Using 3D architectural models to assess light availability and root bulkiness in coconut agroforestry systems. *Agroforestry Systems* DOI 10.1007/s10457-007-9068-3

[ACL-17] **Martin P.**, Bockstaller C., Ouvry J.F, (accepté). Adaptation of the curve number approach to runoff estimation for loamy soils over a growing season for winter wheat: comparison with the STREAM approach. *Land Degradation and Development*.

Articles soumis :

[SOUMIS-01] **Martin P.**, Joannon A., Piskiewicz N., Temporal variability of soil-surface runoff risk due to cropping systems in cultivated catchment areas: use of the DIAR model for the assessment of environmental public policies in the Pays de Caux (France) (soumis à la revue *Journal of Environmental Management* en avril 2009, accepté sous réserve de modification en septembre 2009)

[SOUMIS-02] Havet A., **Martin P.**, Laurent M., Lelaure B. Restriction d'irrigation, mise en place de nouvelles règles pour la PAC : comment réagissent les exploitations laitières bovines et caprines de la plaine de Niort au tournant du siècle ? (soumis à la revue *Fourrages* en avril 2009)

Articles en préparation :

[PREP-01] Ronfort C., **Martin P.**, Souchère V., Sebillotte C., Meynard J.M., How could global context changes impact runoff risk for different type of farming systems in Normandy : linkage between foresight scenarios and a runoff model (DIAR) (destiné à *Agriculture Ecosystem Environment*)

[PREP-02] Ronfort C., Souchère V., **Martin P.**, Sebillotte C., Meynard J.M., How could global context changes impact runoff risk at the local watershed level in Normandy : linkage between foresight scenarios and a spatial runoff model (STREAM) (destiné à *Agriculture Ecosystem Environment*)

[PREP-03] Schaller N., **Martin P.**, Aubry C., Information about the diversity of farming system operation may help understand variations in grassland areas at the regional scale (destiné à *Journal of Environmental Management*)

[PREP-04] Merot A., Aubry C., Barbier M., Benoit M., Joannon A., **Martin P.**, Thenail C., A review of the spatial and temporal approaches of farming systems: consequences for agronomy research. (destiné à *Agriculture Ecosystem Environment*)

Direction d'ouvrage :

[DO-01] Doré T., Le Bail M., **Martin P.**, Ney B., Roger Estrade J., 2006. *L'agronomie aujourd'hui*. Editions Quae coll. Synthèses. 367 pp.

Chapitres d'ouvrages en français :

[OS-01] **Martin P.**, Meynard J.M., 1997. Systèmes de culture, érosion et pollution par l'ion nitrate. in *L'eau dans l'espace rural, production végétale et qualité de l'eau..* Collection "Mieux comprendre", Universités francophones, INRA ed. pp. 303-322.

[OS-02] Doré T., Le Bail M., **Martin P.**, Papy F., 2002. Les exploitations agricoles et la gestion des territoires : questions de recherche. In : *L'expérience agri-environnementale française*. Documentation française, 135-159.

[OS-03] Le Bissonnais Y., **Martin P.**, 2004. Dynamique du ruissellement et de l'érosion diffuse : caractérisation des états de surface des parcelles agricoles et intégration à l'échelle du bassin versant. In : Monestiez P., Lardon S., Seguin B. (éd.), *Organisation spatiale des activités agricoles et processus environnementaux*. Editions INRA, coll. Science Update. pp. 27-41

[OS-04] Le Bissonnais Y., Cerdan O., Fox D., Gascuel-Oudoux C., **Martin P.**, Planchon O., Rajot J.-L., Revel J.-C., 2005 chapitre 25, L'érosion des sols. In : Girard M.C. (coord.), *Sols et environnement, Cours et Etudes de cas*. Dunod, coll. Sciences Sup. 832 p.(pp563-582).

[OS-05] **Martin P.**, Joannon A., Mignolet C., Souchère V., Thenail C., 2006. Systèmes de culture et territoires : cas des questions environnementales. In: Doré T. Le Bail M., Martin P., Ney B., Roger-Estrade J. (Coord.), *L'agronomie aujourd'hui*, Quae Editions. pp. 253-283

Actes de colloque publiés avec comité de lecture

[ACT-01] **Martin P.**, Papy F., Capillon A., 2001. Agricultural field state and runoff risk: proposal of a simple relation for the silty-loam soil context of the Pays de Caux.(France) In : D.E. Stott, R.H. Mohtar and G.C. Steinhardt (eds). Sustaining the Global Farm. *Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting* held May 24-29, 1999 at Purdue University and the USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory. (<http://www.tucson.ars.ag.gov/isco/isco10/SustainingTheGlobalFarm/P061-Martin.pdf>)

Communications à des colloques et posters (avec comité de lecture)

[COM-01] **Martin P.**, Le Bissonnais Y., Benkhadra H., Ligneau L., Ouvry JF., 1995. *Mesures du ruissellement et de l'érosion diffuse générés par les pratiques culturales en Pays de Caux (Normandie)*. Colloque crues versants et lits fluviaux, 22-24 mars 1995 à Paris (poster).

[COM-02] **Martin P.**, 1999 (3). *A simple relation for runoff prediction on silty soil conditions*. (Pays de Caux, France). ISCO' 99, 10th International Soil Conservation Organization Conference. Sustaining the global farm. Local action for Land Stewardship. May 23-28, 1999. Purdue University. West Lafayette, Indiana USA. (poster)

[COM-03] **Martin P.**, 1999. *Critical thresholds for soil erosion associated with land use change in Normandy*. Soil erosion and global change. COST Action 623. Workshop 2 : *Keys thresholds for soil erosion*. April 19-20, Department of Geography University of Leicester (U.K.). (oral)

[COM-04] Pivot J.M., Josien E., Testut M., **Martin P.**, Gendreau N., 2000. Flood hazard change and farmland vulnerability. European conference on advances in flood research. Nov 1-3, 2000, Germany. PIK Report n°65 *European conference on advances in flood research, proceedings*, vol. 1, 368-389. (oral)

[COM-05] Joannon A., Torre A., Souchère V. & **Martin P.**, 2001 - Local collective action. Analysing erosive runoff in terms of proximity in Normandy, France. The Third Congress on Proximity "*New Growth and Territories*", Paris, 13-14 December 2001, 12 p (oral).

[COM-06] Cerdan O., Le Bissonnais Y., Couturier A.; **Martin P.**, Saby N., Souchère V., & Lecomte V., 2001. Modelling sediment concentration in interrill flow as a function of soil surface conditions, vegetation and rainfall. COST 623 International Symposium, "*The significance of Soil Surface characteristics in soil erosion*", Strasbourg, 20-22 September 2001, p 17. (Présentation orale).

[COM-07] Le Bissonnais Y., Cerdan O., Lecomte V., Benkhadra H., Souchère V., **Martin P.**, 2001. Variability of soil surface characteristics influencing interrill erosion processes in cultivated catchments. COST 623 International Symposium, "*The significance of Soil Surface characteristics in soil erosion*", Strasbourg, 20-22 sept. 2001, p 55. (Poster).

[COM-08] **Martin P.**, Joannon A., Souchère V., Papy F., 2001. Management of soil surface characteristics for soil and water conservation. COST Action 623. International Symposium : "*The significance of soil surface characteristics in soil erosion*". September 20-22, University Louis Pasteur, Strasbourg, (France). (Présentation orale).

[COM-09] Joannon A., **Martin P.**, Papy F., Souchère V., 2002. Réduire le ruissellement érosif d'un petit bassin versant par une réorganisation spatiale des cultures. *Les entretiens du Pradel*, 2^{ème} édition des Journées Olivier de Serres. 12-14 septembre 2002, Le Pradel. (Poster).

[COM-10] Souchère V., **Martin P.**, Joannon A., 2002. La maîtrise du ruissellement érosif en Haute-Normandie, France. Journée d'étude : *Erosion hydrique et coulées boueuses en région Wallone*. Namur, Belgique, 31 mai. (Présentation orale).

[COM-11] **Martin P.**, Legout C., Planchon O., Le Bissonnais Y., 2002. Building a network for runoff-data production in Upper-Normandy (France): socio-technical aspects. COST 623 Workshop "*Socio-economic factors and soil erosion*" Brussels 7-9 Mars 2002. (Poster).

[COM-12] Lamanda N., Malézieux E., **Martin P.**, 2003. Cocoteraies et jardins vivriers dans les îles mélanésiennes : diversité spatiale et dynamique temporelle des systèmes de culture. Le cas de Malo (Vanuatu). Colloque *Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux*, 25-27 février 2003, CIRAD Montpellier. (Présentation orale).

[COM-13] Lamanda N., Dauzat J., Jourdan C., Malézieux E., **Martin P.**, 2004. Using 3D architectural models for the evaluation of smallholders coconut based agroforestry systems. *1st World Congress of Agroforestry* 27 June to 02 July 2004. Orlando, Florida, USA. "Working Together for Sustainable Land-use Systems". (Poster).

- [COM-14] Lamanda N., Joffre R., Malézieux E., Roupsard O., **Martin P.**, 2004. Soil organic matter in coconut agroforestry systems a key to sustainability ?. *1st World Congress of Agroforestry* 27 June to 02 July 2004. Orlando, Florida, USA. "Working Together for Sustainable Land-use Systems". (Poster).
- [COM-15] Lamanda N., Malézieux E., **Martin P.**, 2004. Characterisation of coconut based agroforestry systems in Melanesia, a preliminary for their agroecological evaluation. *1st World Congress of Agroforestry* 27 June to 02 July 2004. Orlando, Florida, USA. "Working Together for Sustainable Land-use Systems". (Poster).
- [COM-16] Souchère V., Le Bissonnais Y., Cerdan O., Couturier A., **Martin P.** 2005. Assessment of economic efficiency and return of erosive management scenarios. COST 634 Scientific meeting "*Soil conservation management, perception, and policy*": Rouen, France (June 2005)-4-7 juin 2005. (Poster)
- [COM-17] C. Bockstaller, R. Armand, A; V. Auzet, **P.Martin**, P.van Dijk, 2005. Assessing the effects of cropping systems on soil surface characteristics and runoff using a model-based indicator. COST 634 Scientific meeting "*Soil conservation management, perception, and policy*": Rouen, France (June 2005)-4-7 juin 2005. (Poster).
- [COM-18] A. Joannon, F. Papy, V. Souchère, **P. Martin**, 2005. Modification of crop location at farm level: Assessment of farmer's leeway. COST 634 Scientific meeting "*Soil conservation management, perception, and policy*": Rouen, France (June 2005)-4-7 juin 2005.(Présentation Orale)
- [COM-19] **P. Martin**, D. Cochereau, O. Planchon, C. Barrier. 2005. Integrating runoff measurement and monitoring of soil surface characteristics at a field scale in Upper-Normandy (France) COST 634 Scientific meeting "*Soil conservation management, perception, and policy*": Rouen, France (June 2005)-4-7 juin 2005. (Poster).
- [COM-20] **Martin P.**, Ouvry JF., Bockstaller C., 2005. Changing cultivation methods to reduce runoff: an assessment tool for dialogue with farmers and decision makers. COST 634 Scientific meeting "*Soil conservation management, perception, and policy*" : Rouen, France (June 2005)-4-7 juin 2005. (Présentation orale).
- [COM-21] Le Bail M., **Martin P.**, Souchère V., Joannon A., Aubry C., Barbottin A., Havet A., Mathieu A., Papy F., Tichit M., 2006. Are current methods still relevant for agronomists to face new challenges? A land use case study ? In : *Proceedings of the IXth Congress of the European Society for Agronomy, Warswa (Poland)*, 4-6 sept. 2006. (poster, résumé)
- [COM-22] C. Ronfort, **P. Martin**, V. Souchère, A. Joannon, JM. Meynard., 2006 Towards a time and space runoff assessment at farm and catchment level: a method for fostering dialogue with farmers. COST 634 Scientific meeting "*Farm level adoption of soil and water conservation measures and policy implications in Europe*", Wageningen, 1-3 october 2006. (poster)
- [COM-23] Havet A., **Martin P.**, Lelaure B., Laurent M., 2007. L'eau, principal facteur d'évolution des fonctionnements d'exploitations laitières en Plaine de Niort. Colloque AFPPF, *Productions fourragères et adaptation à la sécheresse*. 27-28 mars 2007, Paris. (poster)
- [COM-24] Ronfort C., Sebillotte C., Souchère V., **Martin P.**, Meynard JM., 2009. Foresight methodology to fine-tune changes in local land use policy thereby minimizing environmental impacts. *Second Farming System design, "An international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems"* August 23-26 2009 -Monterey, CA (USA).
- [COM-25] Dury J., Schaller N., Akplogan M., Aubry C., Bergez JE., Garcia F., Joannon A., Lacroix B., **Martin P.**, Reynaud A., Théron O., 2009. Modelling crop allocation decision making processes to simulate dynamics of agricultural land uses at farm and landscape level. *Second Farming System design, "An international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems"* August 23-26 2009 -Monterey, CA (USA).
- [COM-26] Merot A., Aubry C., Barbier M., Benoit M., Joannon A., **Martin P.**, Thenail C. 2009. Interactions between farming systems and landscapes at various scales: a data-mining approach. *Second Farming System design, "An international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems"* August 23-26 2009 -Monterey, CA (USA).
- [COM-27] Schaller, N., **Martin, P.**, Aubry, C., 2009. Mapping farmers' diversity of grassland management for biodiversity at regional scale. *Second Farming System design, "An international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems"* August 23-26 2009 -Monterey, CA (USA).

[COM-28] **Martin P.**, Schaller N., Havet A., 2009. Diversity of farmers' adaptation to a new context of irrigation restrictions: consequences on grassland areas development. *Second Farming System design*, "An international symposium on Methodologies for Integrated Analysis of Farm Production Systems" August 23-26 2009 -Monterey, CA, (USA).

Revue et colloques (sans comité de lecture) :

[COM-SC-01] **Martin P.**, Souchère V., 1996. Lutte contre l'érosion du sol : cas du Pays de Caux. *Cinquantenaire de l'INRA*, Grignon 31 mai et 1 juin 1996 (poster).

[COM-SC-02] Papy F., **Martin P.**, Bruno J.F., 1996. Comment réduire les risques d'érosion par les pratiques agricoles ? S'adapter aux systèmes érosifs et au contexte économique. *Forum sécheresse pollution inondation érosion. Poitiers Futuroscope, 29, 30 septembre et 1er octobre 1996*. 12 pages.

[COM-SC-03] **Martin P.**, 1997. Intercultures et gestion spécifique du ruissellement et de l'érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord-Ouest de l'Europe. *European Society for Soil Conservation Newsletter* n°2+3, pp. 41-43.

[COM-SC-04] **Martin P.**, Souchère V., 1999. Prévenir les risques de ruissellement et d'érosion. Techniques culturales et modélisation spatiale. *Faç SAD e*, n°2, avril/juin 99. 4 pp.

[COM-SC-05] **Martin P.**, Aubry C., 2000. Précision en agriculture et contraintes de production ou comment concilier horloge et boussole. Colloque AFGR : *Précision des pratiques agricoles et environnement*. Rennes, 15 mars 2000. Actes du colloque AFGR, p. 67-76.

[COM-SC-06] **Martin P.**, Papy F., Souchère V., Capillon A., 2000. Ruissellement agricole : cerner les marges de manœuvre par une modélisation des pratiques de production. *Ingénierie-EAT*, n°23, 25-37.

[COM-SC-07] **Martin P.**, 2000. (2) Comment adapter le conseil technique aux objectifs des agriculteurs dans les systèmes à base cocotier. *Compte rendu du séminaire Scientifique et Technique du Centre Agronomique de Recherche et de Formation du Vanuatu*, 6 p.

[COM-SC-08] **Martin P.**, 2000 (1). Maîtrise des flux de polluants sur les territoires agricoles. *OCL*, vol. 7, n° 6, 512-515.

[COM-SC-09] Souchère V., Joannon A., **Martin P.**, Mathieu A., Delahaye D., Gaillard D., Langlois P., Baudet P., Mainguenaud M., Paquet T., Jassiri W., Le Bissonnais Y., Couturier A., 2006. La maîtrise collective par les agriculteurs du ruissellement érosif sur le territoire agricole *Colloque de valorisation des travaux du Programme GESSOL*, « De la recherche sur les sols à la décision publique », Paris, 21 et 22 novembre 2006, Communication orale, résumé.

[COM-SC-10] Souchère V., Andrieux P., Biarnes A., Bienaimé E., **Martin P.**, Migolet C., Schott C., Van Dyk P. 2006. Analyse de données et méthodes pour la prévision des états de surface à partir de l'information sur l'utilisation des sols. *Colloque de restitution du projet RIDES*, Paris, 12-13 juin, Communication orale, résumé.

[COM-SC-11] **Martin P.**, 2006. Le diagnostic agronomique de ruissellement (DIAR) : un outil de dialogue entre agriculteurs et décideurs. « *Colloque sur la réduction des ruissellements et des inondations : retour d'expérience française et perspectives nouvelles* », *Colloque 20 ans de l'AREAS*, Bois-Guillaume, 19 oct. 2006.

[COM-SC-12] **Martin P.**, Coufourier N., Ouvry J.F., Joannon A., 2007. Comment réduire la production de ruissellement par les pratiques culturales : De la parcelle au bassin versant ? *Colloque « Réduire le ruissellement sur le territoire agricole : quels outils pour quelles perspectives »* Colloque RDT/UMR SAD APT, Bois-Guillaume, 1 et 2 fév. 2007.

[COM-SC-13] **Martin P.**, 2007. De la trajectoire d'états au diagnostic agronomique de ruissellement (DIAR). *Séminaire ANR ADD Geduque*, Montpellier 26 sept 2007.

[COM-SC-14] **Martin P.**, 2007. Approche agronomique des décisions d'assolement dans les exploitations d'élevage. *Comité technique CETIOM*, Paris, 25 octobre 2007.

[COM-SC-15] **Martin P.**, Armand R., Auzet V., Bockstaller C., Bourgain O., Hochereau F., Joannon A., Lecomte V., Mathieu A., Ouvry J.F., Richet J.B., Souchère V., Spaeter S., 2008. Elaboration et mise en œuvre de dispositifs de lutte contre les coulées boueuses (Diget-Cob). *Séminaire national de clôture de l'APR MEDD RDT1* Lyon 15-16 janvier 2008.

[COM-SC-16] **Martin P.**, Bourgain O., Havet A., Mathieu A., Ouvry J.F., Richet JB., Ronfort C., Souchère V., 2008.. Anticiper et accompagner des évolutions de territoires agricoles sensibles aux coulées boueuses (AcTerre). *Séminaire national de lancement de l'APR MEDD RDT2* Lyon 15-16 janvier 2008.

[COM-SC-17] **Martin P.**, Remy B., Bourgain O., Havet A., Laroutis D., Mathieu A., Ouvry J.F., Richet JB., Ronfort C., Souchère V., 2009. Anticiper et accompagner des évolutions de territoires agricoles sensibles aux coulées boueuses (AcTerre). *Séminaire à mi-parcours de l'APR MEDD RDT2* Marseille 19-20 mars 2009.

Publications liées à l'enseignement :

[ENS-01] Capillon A., **Martin P.**, Sebillotte M., 1992. L'enseignement d'Agronomie à l'Institut National Agronomique Paris-Grignon. *Conférence sur l'enseignement agronomique en France, Belgique et Roumanie. Programme TEMPUS, Bucarest 25 mai 1992*. 47 pages.

[ENS-02] **Martin P.** ; 2002. Vers une re-définition des objectifs pédagogiques d'une option de DAA. Modes d'évaluation associés. *Projet de fin de cycle de formation pédagogique pour les enseignants du supérieur agricole*. Soutenu le 13 décembre 2002. 24 diapositives.

[ENS-03] Camel V., **Martin P.**, 2003. *Une approche pluridisciplinaire de la pédagogie par projet : La gestion des eaux dans un bassin versant*. 5 pages Actes du 2ème colloque ENSIETA et ENST Bretagne à Brest 25-26-27 juin 2003 « Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur »+ poster.

[ENS-04] Buzy M., 2005. *Méthodologie d'établissement des trajectoires professionnelles des jeunes diplômés d'AGER*. Mémoire de projet d'ingénieur du DAA AGER encadré par **P. Martin**.

[ENS-05] Chastel E., **Martin P.**, 2006. *Annuaire des anciens élèves de la spécialisation AGER*. 73 pages.

[ENS-06] Chastel E., 2007. *Les étudiants de la spé AGER : Quelques chiffres et résultats de l'enquête auprès des anciens de la spé AGER* (sept-déc 2006). Rapport de fin de CDD piloté par **P. Martin** pour la réflexion sur l'évolution de l'enseignement du département AGER. Montage powerpoint de 16 diapositives et rapport de synthèse de 7 pages.

[ENS-07] Barrier C., **Martin P.**, 2007. *Annuaire des anciens élèves de la spécialisation AGER*. 98 pages.

[ENS-08] V. Camel, A. Lelièvre, M. Le Bail, P. Schmidely, S. Médiène, **P. Martin**, J. Michelin, D. Montagne, T. Lerch, L. Vieublé-Gonod, S. Bourgeois, A. Bermond, A.-M. Davila-Gay, J.-P. Plavinet, H. Brives-Beaume, S. Blanchemanche, P. Verger, 2008. *Pratiquer l'interdisciplinarité : une nécessité et une réalité à AgroParisTech*. 10 pages, Actes du 5ème colloque ENSIETA et ENST Bretagne à Brest 18-19-20 juin 2008 « Questions de pédagogie dans l'enseignement supérieur »+ poster.

[ENS-09] **Martin P.** 2008. A role-playing game allowing students to experiment the benefits of territory agronomy to prevent natural disasters. *8th European IFSA Symposium* Satellite session Education in Landscape and Territory Agronomy 10 July 2008, Clermont-Ferrand, France (oral)

[ENS-10] **Martin P.** 2008 b. L'enseignement de l'agronomie à AgroParisTEch. *II Seminário Internacional sobre as Perspectivas do Ensino de Ciências Agrárias no Sul do Brasil*. 19-21 août 2008 (Conférence invitée).

Thèse

[THESE] **Martin P.**, 1997. *Pratiques culturelles, ruissellement et érosion diffuse sur les plateaux limoneux du Nord-Ouest de l'Europe. Application aux intercultures du Pays de Caux*. Thèse de docteur de l'INA P-G. 184 p + annexes.

Autres productions : Rapports écrits, brevets, expertises...

[AP-01] Jolly F., **Martin P.** 1989. Etude de la variabilité des rendements et des taux de protéine de l'orge de printemps à destination de la malterie. Mémoire de fin d'études d'ingénieur de l'INA-PG, mention Sciences et techniques des productions végétales. 51 pages + annexes.

[AP-02] **Martin P.**, 2000. Evaluation scientifique d'un projet au titre de l'Appel à Projets de Recherche, Transfert de Technologies du Conseil Régional Midi-Pyrénées (2000-2002) : rubrique l'homme et son environnement

[AP-03] Souchère V., **Martin P.** 2000. *Les dossiers PAC : une source d'informations pour suivre l'évolution de l'occupation du sol et estimer un risque potentiel au niveau communal*, pp. 85-91. In : Souadi T., King C.,

Le Bissonnais Y (2000) – Cartographie régionale de l'aléa Erosion des sols en région Haute-Normandie. BRGM/RP-50454-FR, 95 p.

[AP-04] **Martin P.**, Bonneau X., 2001. *Rapport de mission d'appui au travail de Manuel David CSN au CARFV (Vanuatu)*. CP SIC n°1322, 9 p.

[AP-05] **Martin P.**, Pivain Y., 2002. Agri Obtention, Contrat de licence sur savoir faire entre Agri-Obtention S.A. et JPCL SARL portant sur la fabrication d'appareil de mesure du ruissellement sur la base des travaux menés conjointement par P. Martin (UMR 1048) et Y. Pivain (Chambre d'agriculture de l'Eure), 19 p.

[AP-06] **Martin P.**, 2003. *Rapport de mission d'encadrement du travail de thèse de Nathalie Lamanda (7/06/03 au 17/06/03)*. 12 pages + annexes.

[AP-07] Le Bissonnais Y., Bruno J.F., Cerdan O., Couturier A., Elyakime B., Fox D.; Lebrun P., **Martin P.**, Morschel J., Papy F., Souchère V., 2003. *Maîtrise de l'érosion hydrique des sols cultivés phénomènes physiques et dispositifs d'action*. Rapport final de programme GESSOL.

[AP-08] Souchère V., Papy F., Baudet P., Couturier A., Delaye D., Jasiri W., Joannon A., Langlois P., Le Bissonnais Y., Maingueneaud M., **Martin P.**, Mathieu A., Paquet T., 2005. *La maîtrise collective par les agriculteurs du ruissellement érosif sur le territoire agricole*. Rapport de programmation D4E/SRP : Gérer les ressources en eau et en sol (GESSOL), 90 p.

[AP-09] **Martin P.**, Armand R., Auzet V., Bockstaller C., Bourgain O., Hochereau F., Lecomte V., Mathieu A., Ouvry J.F., Richet JB., Souchère V., Spaeter S., 2005. *Elaboration et mise en œuvre de dispositifs pour la gestion des territoires générant des coulées boueuses*. Rapport intermédiaire APR « Risques décision Territoire » du Ministère de l'écologie et du développement durable. 40 pages.

[AP-10] Collectif, 2006. *Maîtrise du ruissellement et de l'érosion des sols : expérimentations sur les pratiques culturales : synthèse des travaux. Version 1 - Septembre 2006*. 280 pages.

[AP-11] **Martin P.**, Armand R., Auzet V., Bockstaller C., Bourgain O., Hochereau F., Lecomte V., Mathieu A., Ouvry J.F., Richet JB., Souchère V., Spaeter S., 2007. *Elaboration et mise en œuvre de dispositifs pour la gestion des territoires générant des coulées boueuses*. Rapport final APR « Risques décision Territoire » du Ministère de l'écologie et du développement durable. 104 pages + annexes.

[AP-12] **Martin P.**, Bourgain O., van Dijk P., Dutertre E., Havet A., Legoff A., Mathieu A., Ouvry J.F., Remy B., Richet JB., Ronfort C ; Souchère V., 2008. *Anticiper et accompagner des évolutions de territoires agricoles sensibles aux coulées boueuses* : (AcTerre). Rapport intermédiaire APR « Risques décision Territoire » 2ème volet du Ministère de l'écologie et du développement durable. 49 pages.

[AP-13] **Martin P.**, Havet A., 2008. Rapport final Praitere. Annexe 2 : les différents outils élaborés et utilisés dans Praitere. 6. *Typologie des exploitations agricoles dans la zone d'étude et trajectoires d'évolution*. Pages 60-94.

Encadrement de travaux d'étudiants

Thèses soutenues

[THES-02] Lamanda N. 2005. *Caractérisation et évaluation agroécologique de systèmes de culture agroforestiers : une démarche appliquée aux systèmes de culture à base de cocotiers (Cocos nucifera L.) sur l'île de Malo, Vanuatu*. 201 p. + annexes. Thèse de docteur de l'INA P-G (école doctorale ABIÉS), discipline agronomie, conduite en collaboration entre l'UMR SAD APT et l'UMR System. Directeur de thèse : T. Doré, co-encadrement P. Martin, E. Malézieux.,
Nathalie Lamanda a été recrutée après sa thèse, au CIRAD en CDI en mai 2006, et affectée à l'UMR SYSTEM

[THES-01] Joannon A. 2004. *Coordination spatiale des systèmes de culture pour la maîtrise de processus écologiques. Cas du ruissellement érosif dans les bassins versants agricoles du Pays de Caux, Haute-Normandie*. 231 p + annexes. Thèse de docteur de l'INA P-G (école doctorale ABIÉS), discipline agronomie conduite dans l'UMR SAD APT. Directeur de thèse : F. Papy, co-encadrement P. Martin, V. Souchère.
Alexandre Joannon a été recruté comme CR à l'INRA SAD Paysage en 2005

Thèses en cours

[THES-EC-01] Ronfort C. (démarrage fin 2006, soutenance prévue début 2010). Nouvelle organisation des systèmes de culture et risques en matière d'érosion suite aux recompositions des marchés de la betterave à sucre et du colza diester.

Thèse inscrite à l'Ecole Doctorale Normande de Chimie – Biologie (Rouen). Directeur de thèse : J.M. Meynard, co-encadrement **P. Martin**, V. Souchère.

[THES-EC-02] Schaller N., (démarrage en novembre 2008, bourse DIM Région Ile de France). Modélisation conceptuelle des décisions d'assolement et de succession de cultures dans des territoires en mutation soumis à des enjeux environnementaux.

Thèse inscrite à l'école doctorale ABIES (Paris). Directeur de thèse : **P. Martin** , co-encadrement C. Aubry.

Stages Master, DEA, DAA et projets d'ingénieur (ne sont repris ici que les stages les plus en lien avec mes activités de recherche)

[MEM-00] Collectif, 1993. *Intercultures et érosion en Pays de Caux*. Rapport des étudiants. INAPG D.A.A. Sciences et techniques des productions végétales encadré par P. Martin et G. David. 53 pp + annexes.

[MEM-01] Nivoit D., 1995. *La gestion du territoire agricole et la maîtrise de l'érosion par concentration du ruissellement à l'échelle d'une commune. Approche méthodologique*. Mémoire de DAA de l'INA-PG encadré par P. Martin, F. Papy et S. Cartier. 64 pages plus annexes.

[MEM-02] His M. 1996. *Possibilités d'insertion de pratiques de lutte contre le ruissellement dans le calendrier de travail des exploitations agricoles du Pays de Caux*. Mémoire de fin d'étude de l'ISAB encadré par P. Martin.. 58 pages plus annexes.

[MEM-03] Pivain Y., 1997. *Maîtrise des inondations boueuses par la modification des pratiques culturales et l'aménagement hydraulique dans le Pays de Caux. Application à travers l'exemple de deux bassins versants*. Mémoire de DESS "Environnement en milieu rural", ENSAT encadré par P. Martin. 60 pages + cartes + annexes.

[MEM-04] Brotons A., Fayolle V., Lescalier E., 1998. *Valorisation des données PAC pour une meilleure gestion environnementale de l'espace : application à l'érosion hydrique en Haute-Normandie, région de grande culture*. 24 pages + annexes + poster. Mémoire de projet d'ingénieur DAA AGER.

[MEM-05] Testut M., 1999. *La gestion du risque d'inondation par les exploitations agricoles*. Mémoire de 2^{ème} année de l'INA P-G. CEMAGREF Division Elevage-Territoire Clermont-Ferrand encadré par P. Martin, E. Josien, JM Pivot et A. Havet 54 p. + annexes.

[MEM-06] Laurent C., 1999. *Analyse de la phase de mise en place des contrats ruraux de l'Agence de l'eau Seine Normandie*. Mémoire de fin d'étude INA P-G encadré par P. Martin, 44 p. + annexes.

[MEM-07] Jeantils S., 1999. *Aspects économiques de la lutte contre l'érosion*. Mémoire de 2^{ème} année de l'INA P-G, ESR Toulouse encadré par P. Martin. 52 p.

[MEM-08] Lamanda N., 2001. *Analyse de systèmes d'activités à base cocotiers sur l'île d'Espiritu Santo (Vanuatu)*. Mémoire de DESS "Gestion des systèmes agro-sylvo-pastoraux en zones tropicales" Université Paris XII Val de Marne, CIRAD-CARFV (Vanuatu) encadré par P. Martin, 61 p. + annexes.

[MEM-09] Legout C., 2001. *Conception, suivi et mise en cohérence de dispositifs régionaux de mesure du ruissellement et de l'érosion diffuse en Haute-Normandie*. Mémoire de fin d'étude ESITPA encadré par P. Martin. 114 p.

[MEM-10] Mangenot B., 2002. *Organisation des structures concernées par les mesures de ruissellement en Haute Normandie et rédaction d'un guide technique sur la mise en place et le suivi de ces mesures*. Mémoire de 2^{ème} année de l'INA P-G. 17 pages + annexes, encadré par P. Martin.

[MEM-11] Fiorelli C., 2002, *Contribution à la caractérisation de la multifonctionnalité de l'agriculture d'une petite zone de polyculture élevage dans le Puy de Dôme*. Mémoire d'ingénieur INAPG Paris,CEMAGREF Clermont Ferrand, 64 pages+annexes.

[MEM-12] Belotte D., Foray S., 2003. *Vers une mise en réseau des références techniques sur le ruissellement en Haute-Normandie. Proposition d'actions pour améliorer le traitement, l'organisation et la valorisation des données recueillies*. Projet de 3^{ème} année de DAA AGER INA P-G encadré par P. Martin. 34 p. + annexes.

- [MEM-13] Popon P., 2004. Conditions d'utilisation d'un indicateur de risque de ruissellement en Pays de Caux. Mémoire de stage de l'école Polytechnique-INA P-G/UMR SAD APT. 30 pages.
- [MEM-14] Legoas H., 2004. *Intercommunalité : quel impact sur l'exercice des compétences eau et assainissement ? Illustration sur le bassin Seine Normandie*. Mémoire de DAA de l'INA P-G, Agence de l'eau Seine-Normandie. Pages
- [MEM-15] Le Coz F. 2004. *Evolution des interactions entre les fonctions environnementales et productives d'un espace agricole. Etude sur une petite zone de polyculture élevage du Massif Central*. Mémoire de DAA de l'INA P-G, CEMAGREF Clermont Ferrand.76 pages
- [MEM-16] Champeaux C., 2004. *Les dispositifs agricoles à finalité environnementale sur le bassin Seine-Normandie. Élargissement des interventions de l'AESN dans la lutte contre les pollutions diffuses*. Mémoire de DAA de l'INA P-G, Agence de l'eau Seine-Normandie. ?? pages
- [MEM-17] Paré N., 2005. *Sélection de variétés de Gombo et étude des modes de production et des besoins des maraichers urbains de Bamako en vue de l'amélioration de la production de Gombo en Afrique de l'Ouest*. Rapport de stage obligatoire de 2ème année INA P-G, 51 pages (stage world vegetable center).
- [MEM-20] Latruberce M., 2005. *Impacts environnementaux de la PAC en Europe. Deux exemples : les Mesures Agro-Environnementales et l'Organisation Commune des Marchés des fruits*. Mémoire de DAA de l'INA P-G, Agence de l'eau Seine-Normandie. 86 pages.
- [MEM-18] Pamies M., Pare N., Trémeau E., 2005. *L'agriculture et ses effets sur le ruissellement : diagnostic et propositions à l'échelle d'un petit bassin versant*. Rapport d'Initiation à l'Ingénierie de Projet. 2ème année INA P-G. 33 p. + annexes.
- [MEM-19] Lemaire F., Guilmain A.L., 2005. *Elaboration d'un guide d'entretien pour comprendre le fonctionnement des exploitations agricoles : focalisation sur les liens à l'espace*. Mémoire de projet d'ingénieur de l'INA P-G, DAA AGER, UMR SAD APT 34 pages + annexes.
- [MEM-21] Hacherouf H., 2005. *Détermination des pratiques et des conduites des agriculteurs pour la sauvegarde de l'outarde canepetière dans le cas de la plaine de Niort*. Master of science CIHEAM, UMR Agronomie INRA INA-PG, UMR SAD-APT INRA INA-PG, 124 p + annexes.
- [MEM-22] Collectif 2005. *Diagnostic ruissellement en Haute-Normandie*. Rapport d'option Agriculture et Risques environnementaux du DAA AGER module « Maîtrise des pollutions d'origine agricole ». 35 pages + annexes.
- [MEM-23] Cochereau D., 2005. *Maîtrise des ruissellements d'origine agricole via les pratiques culturales*. Stage obligatoire de 2ème année de l'INA P-G/UMR SAD APT. 22 pages.
- [MEM-24] Buzy M., 2005. *Méthodologie d'établissement des trajectoires professionnelles des jeunes diplômés d'AGER*. Mémoire de projet d'ingénieur de l'INA P-G, DAA AGER, Service emploi AGER. 27 pages
- [MEM-25] Blard A, Morel-Fatio A., 2005. *Les bilans d'éléments fertilisants à l'échelle régionale : quels enjeux pour cet outil ?* Mémoire de projet d'ingénieur de l'INA P-G, DAA AGER, UNIFA. 35 pages.
- [MEM-26] Assoul N., 2005. *Etablissement d'une typologie spatialisée des exploitations agricoles de la plaine de Niort-Sud à des fins environnementales*. Mémoire de master EMTS INA P-G, MNHN, Paris 7.
- [MEM-27] Peigney S., 2006. *Détermination et analyse coût-efficacité des mesures hydromorphologiques visant à atteindre le bon état des eaux en 2015 dans le bassin Loire Bretagne. Application au bassin versant de l'Yèvre Auron*. Mémoire de DAA de l'INA P-G, Poyri environnement 53 pages + annexes.
- [MEM-28] Médard F., Rullier S., 2006. *Analyse critique d'une méthode de Diagnostic Agri-Environnemental, volet Ruissellement-Erosion. Cohérence de la méthode, pertinence des indicateurs et facilité de mise en œuvre*. Mémoire de projet d'ingénieur de l'INA P-G, DAA AGER, Alternattech. 29 pages.
- [MEM-29] Lelaure B., 2006. *Place et avenir des prairies dans les exploitations agricoles d'un territoire de polyculture-élevage en mutation. Le cas de la Plaine Sud-est de Niort*. Mémoire de DAA de l'Agro Montpellier Spécialisation : Elevage en milieux difficiles. 40 pages + cartes et annexes
- [MEM-30] Coignac J., Delage D., 2006. *Etude de la diversité des modes de fonctionnement des Syndicats de Bassin Versant (SBV) dans le département de Seine-Maritime pour la gestion du ruissellement des sols. Le cas des pratiques agricoles anti-érosives génériques (interculture) et spécifiques (hydraulique douce)*. Mémoire de projet d'ingénieur de l'INA P-G, DAA AGER, UMR SAD APT. 34 pages.

[MEM-31] Agenis-Nevers M., Galdi B., 2006. *Réalisation d'un diagnostic territorial dans le Sud de la Plaine de Niort*. Mémoire de projet d'ingénieur de l'INA P-G, DAA AGER, programme PRAITERRE. 41 pages.

[MEM-32] Paré N., 2007. *Etude de la variabilité et de la dynamique des états de surface des sols viticoles méditerranéens*. Mémoire de fin d'études AgroParisTech-SupAgro/LISAH. 92 p.

[MEM-33] Meunier C., 2007. *Contribution de l'agriculture à la réduction des risques d'inondation et d'érosion dans les bassins versants viticoles méditerranéens. Eléments méthodologiques pour le diagnostic et propositions de mesures correctives. Cas du bassin versant du fossé des Relagnes à Châteauneuf-du-Pape*. Mémoire de fin d'études DAA INA P-G/Chambre d'agriculture du Vaucluse. 86 pages

[MEM-34] Meola G., 2007. *Diversité et Répartition spatiale des exploitations agricoles d'un territoire en mutation: L'exemple de la plaine de Niort*. Mémoire de fin d'études ESITPA/UMR SAD APT 97 pages.

[MEM-35] Klein J., Meunier C., 2007. (Encadrement P. Martin/C. Ronfort) *Evolution des assolements dans le Pays de Caux Evolutions passées et moteurs, tendances futures et moteurs, échelle spatiale du canton*. Rapport de projet d'ingénieur, DAA AGER, AgroParisTech 79 pages (projet RDT2).

[MEM-36] Roillet J., 2008. *Etude de l'organisation spatiale des cultures et des prairies dans l'exploitation agricole grâce aux règles de décision*. Mémoire de master STV, Mention SAGEP, spécialité Agronomie, AgroParisTech. 63 pages.

[MEM-37] Piskiewicz N., 2008. *Développement d'une chaîne d'outils informatique dans le cadre de la maîtrise du ruissellement érosif*. Mémoire de fin d'étude ESIAE. 65 pages.