HAL open science

Occupation des sols et gestion de l'eau : modélisation prospective en paysage agricole fragmenté (Application au SAGE du Blavet)

Thomas Houet

▶ To cite this version:

Thomas Houet. Occupation des sols et gestion de l'eau : modélisation prospective en paysage agricole fragmenté (Application au SAGE du Blavet). Géographie. Université Rennes 2, 2006. Français. NNT : . tel-00389835

HAL Id: tel-00389835

https://theses.hal.science/tel-00389835v1

Submitted on 29 May 2009

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.

UNIVERSITE DE RENNES 2 - HAUTE BRETAGNE
UFR Sciences Sociales - Département de Géographie
Laboratoire COSTEL
UMR LETG 6554 CNRS – IFR 90 CAREN

Occupation des sols et gestion de l'eau :

Modélisation prospective en paysage agricole fragmenté (Application au SAGE du Blavet)

THESE DE DOCTORAT
Discipline : **GEOGRAPHIE**

Présentée par

Thomas HOUET

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE RENNES 2 – HAUTE BRETAGNE

Membres du jury :

Marc BENOIT,	Directeur de Recherche - INRA-SAD Mirecourt	*(Rapporteur)*
Thierry BROSSARD,	Directeur de Recherche - Université de Besançon	*(Examinateur)*
Daniel DELAHAYE,	Professeur - Université de Caen	*(Rapporteur)*
Laurence HUBERT-MOY,	Professeur - Université de Rennes 2	*(Directrice)*
Jean-Pierre MARCHAND,	Professeur - Université de Rennes 2	*(Co-Directeur)*
Douglas M. MUCHONEY,	Directeur de Recherche - USGS USA	*(Examinateur)*

Soutenue le 14 Juin 2006

UNIVERSITE DE RENNES 2 - HAUTE BRETAGNE
UFR Sciences Sociales - Département de Géographie
Laboratoire COSTEL
UMR LETG 6554 CNRS – IFR 90 CAREN

Occupation des sols et gestion de l'eau :

Modélisation prospective en paysage agricole fragmenté (Application au SAGE du Blavet)

THESE DE DOCTORAT
Discipline : **GEOGRAPHIE**

Présentée par

Thomas HOUET

Pour obtenir le titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE RENNES 2 – HAUTE BRETAGNE

Membres du jury :

Marc BENOIT,	Directeur de Recherche - INRA-SAD Mirecourt	*(Rapporteur)*
Thierry BROSSARD,	Directeur de Recherche - Université de Besançon	*(Examinateur)*
Daniel DELAHAYE,	Professeur - Université de Caen	*(Rapporteur)*
Laurence HUBERT-MOY,	Professeur - Université de Rennes 2	*(Directrice)*
Jean-Pierre MARCHAND,	Professeur - Université de Rennes 2	*(Co-Directeur)*
Douglas M. MUCHONEY,	Directeur de Recherche - USGS USA	*(Examinateur)*

Soutenue le 14 Juin 2006

« Le futur est une source
d'incertitude pour la connaissance
et de liberté pour l'acteur »

B. de Jouvenel
(L'art de la Conjecture, 1964)

A tous ceux que j'aime,
Et à qui je dédis ma propre prospective.

REMERCIEMENTS

Je souhaite remercier vivement tous ceux qui, de près ou de loin, m'ont accompagné dans ce parcours initiatique que synthétise ce travail de recherche. Que toutes les personnes (et elles sont nombreuses) qui sont intervenues dans ce travail et pour me soutenir sachent que je leur adresse ma reconnaissance la plus sincère.

En premier lieu, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Laurence Hubert-Moy, Professeur de Géographie à l'Université de Rennes II pour m'avoir donné l'opportunité d'effectuer cette thèse au sein du laboratoire COSTEL. Je lui suis extrêmement reconnaissant de son accompagnement durant ce doctorat, mais aussi depuis bien plus longtemps, et qui ne se limite pas aux exigences de la recherche en Géographie. Ses qualités humaines sont au moins à la hauteur de ses compétences professionnelles.

J'exprime également ma vive reconnaissance à Jean-Pierre Marchand, professeur de Géographie à l'Université de Rennes II, pour m'avoir fait l'honneur de co-diriger cette thèse.

Je tiens à sincèrement remercier Daniel Delahaye, professeur au laboratoire de Géographie Physique et Environnement (GEOPHEN) de l'Université de Basse-Normandie d'avoir accepté de lire et de juger ce travail et d'avoir su se rendre disponible lors de nos échanges scientifiques.

Que Thierry Brossard, Directeur de Recherche à l'Université de Besançon, et Marc Benoît, Directeur de Recherche à l'INRA-SAD Mirecourt, reçoivent ma sincère sollicitude pour avoir bien voulu faire parti de ce jury.

Mes remerciements s'adressent aussi à Douglas M. Muchoney, du *United States Geological Survey*, pour son implication dans l'évaluation de ce travail et pour m'avoir permis de travailler au *Center for Earth Resources Observations & Science (EROS)* en collaboration avec les membres de l'équipe du *TRENDS project*, sous la responsabilité de Thomas R. Loveland.

Je tiens également à exprimer ma vive reconnaissance à Jacques Baudry de l'INRA-SAD Armorique et Xavier Poux, du bureau d'étude AScA et chercheur associé au RGTE CIRED-ENGREF, pour leur participation à mon comité de pilotage et pour avoir su éclairer et orienter ces recherches. Je n'oublierai pas Bernard Clément et Corentin Canévet pour leur aide précieuse.

Je ne saurais omettre : les personnes ayant contribuées à l'utilisation et au développement de L1 (Cédric Gaucherel, Nathalie Giboire, Valérie Viaud et Benjamin Retho) ; les prospectivistes et membres d'AScA (Jean-Baptiste Narcy, Violaine Chenat, Christophe Bouni) pour m'avoir fait confiance, m'avoir initié à cette discipline et pour leur sympathie (Michel vous salue bien !) ; Johnny Douvinet, Erwan Bocher et Nicolcas Schermann pour leur aide dans l'utilisation des modèles de simulation de transferts de flux.

Que l'Institution du SAGE Blavet, la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor et le Syndicat Mixte de Kerné Uhel soient également remerciés. Leurs contributions ont facilité la réalisation de ce travail qui leur est destiné.

Un grand merci à toute l'équipe du laboratoire COSTEL dirigé par Vincent Dubreuil, avec une pensée toute particulière pour tous les thésards (anciens et actuels) du laboratoire (Vincent, Sam, Rémi, Fernand, Morgane, Mabiane, David, Medhi, Rahim…), pour Delphine pour sa bonne humeur et sa efficacité et pour Stéphanie pour son aide sur le terrain.

Petit clin d'œil à ceux qui ont su me montrer qu'il y avait une vie à côté de la thèse. Depuis les bars rennais (Ronan, Laurence, Anne,…), au Désert de Gobi, en passant par l'anse de Sciotot (Noar, Pierre…) ou d'autres villes en France (Erwan, Nico, Nono,…) et dans le monde (Chris, Peter…), à vous tous : Merci pour votre bonne humeur, votre chaleur, votre confiance et votre amitié !

Enfin, j'adresserai une pensée toute particulière à Aurore et à ma famille qui ont su m'encourager, me motiver, m'aider, me supporter… à chaque instant durant ces trois ans et demi. Sans vous, cela aurait certainement été beaucoup plus difficile. Merci de tout mon cœur…

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

5S	Simulation of the Sensor Signal in the Solar Spectrum (5S model)
ACAL	Aide à la Cessation de l'Activité Laitière
ADASEA	Association Départementale pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles
AELB	Agence de l'Eau Loire-Bretagne
AEP	Alimentation en Eau Potable
ART	Adaptative Resonance Theory
AScA	Application des Sciences de l'Action
BEP	Bretagne Eau Pure
CA 22	Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor
CA 56	Chambre d'Agriculture du Morbihan
CAD	Contrat d'Agriculture Durable
CAPSIS	Croissance d'Arbre en Peuplement avec Simulation d'Itinéraires Sylvicoles
CASI	Compact Airbone Spectographic Imager
CE	Communauté Européenne
CELIB	Comité d'Etudes et de Liaison des Intérêts Bretons
CEMAGREF	Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêt
CESR	Conseil Economique et Social Régional
CETA	Centre d'Etude Techniques Agricoles
CEVA	Centre d'Etudes et de Valoraisation des Algues
CGP	Commisariat Général au Plan
CIPAN	Cultures Intermédiaires Piège A Nitrates
CLE	Commission Locale de l'Eau
CLUE	Conversion of Land Use et its Effects
CLUE-CR	Conversion of Land Use et its Effects - Costa Rican example
CLUE-S	Conversion of Land Use et its Effects for the regional Scale
CNASEA	Centre National pour l'Aménagement des Structures des Exploitations Agricoles
CNRS	Comité National de la Recherche Scientifique
CO^2	Dioxyde de Carbone
COOP	COOPératives agricoles
CORMAS	Common-pool Ressources et Multi-Agent Systems
CORMORAN	Caractérisation ObseRvation Modélisation des tRansferts en milieu Agricole armoricaiN
CORPEP	Cellule d'Orientation Régionale pour la Protection des Eaux contre les Pesticides
COSTEL	Climat et Occupation du Sol par TELédétection
CTE	Contrat territorial d'Exploitation
CUMA	Centre d'Utilisation de Matériel Agricole
DATAR	Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale
DCE	Directive Cadre Européenne sur l'Eau
DDAF	Direction Départementale de l'Agriculture et des Forêts
DIREN	Direction Régionale de l'Environnement
DPU	Droit au Paiment Unique
EARL	Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée
EDF	Electricité De France
ENGREF	Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts
ETA	Entreprise de Travaux Agricoles
FAF	Fabrication d'Aliments à la Ferme
FDSEA	Fédération Départementale des Syndicats d'Exploitants Agricoles
GAEC	Groupement Agricole d'Exploitation en Commun
GALCOB	Groupement d'Action Local du Centre Ouest Bretagne
GAM	Geographic Analysis Monitoring program
GDR	Groupement De Recherche
GEOPHEN	Géographie PHysique et ENvironnement
GICC	Gestion et Impacts du Changement Climatique
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat
GVA	Groupement de Vulgarisation Agricole
HGMU	Hydro-Geomorphic Unit
HRV	Haute Résolution dans le Visible
HRVIR	Haute Résolution dans le Visible et l'Infra-Rouge
IAA	Industrie Agro-Alimentaire
IAC	Interactive Activation et Competition
IAE	Industrie Agro-Energétique
IFEN	Institut Français de L'environnement

IGN	Institut Géographique National
INRA	Institut National de Recherches en Agronomie
INRA-Sad	Institut National de Recherches en Agronomie
INSEE	Insitut National des Statistiques et des Etudes Economiques
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IRS-LISS	Indian Remote Sensing Linear Imaging et Self Scanning Sensor
IVD	Indemnité Viagère de Départ
JAC	Jeunesse Agricole Chrétienne
L1	Landscape modelling plateform version 1
Landbuf	Landscape Buffer
LANDIS	model of forest LANdscape DISturbance, succession et management
LOA	Loi d'Orientation et d'Aménagement
LUCC	Land Use et Cover Changes
MAE	Mesure Agro-Environnementale
MBS	Marge Brute Standard
MNE	Modèle Numérique d'Elévation
MTG	Modélisation et Traitements graphiques en Géographie
N_2O	Monoxyde de diazote
NO	Monoxyde d'Azote
Odissés	Outils DIStribués pour la Spatialisation des Ecoulements Superficiels
OGM	Organisme Génétiquement Modifié
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
ONIC	Office National Interprofessionnel des Céréales
ONU	Organisation des Nations Unies
ORE	Observatoire de Recherches en Environnement
OTEX	Orientation Technico-Economique des eXploitations
PAC	Politique Agricole Commune
PEVS	Programme Environnement, Vies et Sociétés
PLU	Plan Local d'Urbanisme
PMPOA	Programme de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole
Rand Corporation	Research et Development Corporation
RESO	Rennes, Espaces et SOciétés
RGA	Recensement Général Agricole
RNB	Réseau National de Bassin
Ruicells	Ruissellement de surface par automate Cellulaire
SAFER	Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SAU	Surface Agricole Utile
SCEES	Service Central des Etudes et Enquêtes Statistiques
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SDAU	Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
SELES	Spatially Explicit Landscape Event Simulator
SFP	Surface Fourragère Principale
SH	Surface en Herbe
SIG	Système d'Information Géographique
SLEUTH model	Slope, Land-use, Exclusion, Urban extenT, Hillshade model
SMA	Système Multi-Agents
SME	Spatial Modelling Environment
SMI	Surface Minimale d'Installation
SMKU	Syndicat Mixte de Kerné Uhel
SOFM	Self Organizing Feature Map
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
TELSA	Tool for Exploratory Landscape Scenario Analyses
TNT2	Topography-based Nitrogen Transfer et Transformations
TYFON	Typologie Fonctionnelle des zones humides de fonds de vallées
UE	Union Européenne
UGB	Unité de Gros Bétail
UMR	Unité Mixte de Recherche
UN	Unité d'Azote
UNEP	United Nation Environment Program
USA	United States of America
USGS	United States Geological Survey
UTA	Unité de Travail Annuel
WUR	Wageningen University et Research Center
ZAC	Zone d'Action Complémentaire
ZES	Zone d'Excédent Structurel

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE ..... **- 13 -**

PARTIE 1 MODELISATION PROSPECTIVE DE L'OCCUPATION ET L'UTILISATION DES SOLS DANS DES PAYSAGES AGRICOLES FRAGMENTES : ENJEUX ET METHODOLOGIE ..... **- 21 -**

INTRODUCTION ..... - 23 -

CHAPITRE 1 - EVOLUTION DES PAYSAGES AGRICOLES BOCAGERS ET SON IMPACT SUR LA QUALITE DE L'EAU : DES ENJEUX DIFFERENTS SELON LES ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES CONSIDEREES ..... - 25 -

CHAPITRE 2 - PROSPECTIVE DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DES SOLS : APPROCHES METHODOLOGIQUES DE CONSTRUCTION DE SCENARIOS ..... - 49 -

CHAPITRE 3 - SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES : DE LA REPRESENTATION A LA MODELISATION DE LA COMPLEXITE ..... - 65 -

CONCLUSION ..... - 87 -

PARTIE 2 LE BLAVET ET LA CONSTRUCTION DE LA « BASE » DES SCENARIOS : DETERMINATION DES TRAJECTOIRES ET PROCESSUS D'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES A L'ECHELLE LOCALE ..... **- 89 -**

INTRODUCTION ..... - 91 -

CHAPITRE 4 - LE CONTEXTE DU BLAVET ET PRESENTATION DES SITES D'ETUDES ..... - 93 -

CHAPITRE 5 - RECONSTITUTION DES TRAJECTOIRES D'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES ..... - 111 -

CHAPITRE 6 - LES FACTEURS EXPLICATIFS DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES ..... - 143 -

CHAPITRE 7 - L'EVOLUTION D'UN PAYSAGE AGRICOLE BOCAGER : REPRESENTATION SYSTEMIQUE ET ENJEUX PROSPECTIFS VIS-A-VIS DE LA QUALITE DE L'EAU ..... - 179 -

CONCLUSION ..... - 193 -

PARTIE 3 CONSTRUCTION DE SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES DE L'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES A L'ECHELLE LOCALE : METHODOLOGIE ..... **- 195 -**

INTRODUCTION ..... - 197 -

CHAPITRE 8 - LES SCENARIOS PROSPECTIFS : ENJEUX, HYPOTHESES DE CONSTRUCTION ET EVALUATIONS ..... - 199 -

CHAPITRE 9 - LA SPATIALISATION DES SCENARIOS PROSPECTIFS ..... - 217 -

CONCLUSION ..... - 235 -

PARTIE 4 LES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES, LEURS IMPACTS ET LEURS APPORTS ..... **- 237 -**

INTRODUCTION ..... - 239 -

CHAPITRE 10 - LES SCENARIOS PROSPECTIFS EXPLORATOIRES SPATIALISES A L'ECHELLE LOCALE ..... - 241 -

CHAPITRE 11 - LES SCENARIOS PROSPECTIFS NORMATIFS SPATIALISES A L'ECHELLE LOCALE ..... - 281 -

CHAPITRE 12 - APPORTS DES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES POUR LES GESTIONNAIRES DE L'EAU ET LES ACTEURS LOCAUX ..... - 305 -

CONCLUSION ..... - 313 -

CONCLUSION GENERALE ..... **- 315 -**

BIBLIOGRAPHIE ..... - 325 -

ANNEXES ..... - 341 -

LISTE DES FIGURES ..... - 355 -

LISTE DES ENCADRES ..... - 358 -

LISTE DES TABLEAUX ..... - 359 -

TABLE DES MATIERES ..... - 361 -

INTRODUCTION GENERALE

Les changements d'occupation et d'utilisation des sols influent sur la circulation et la biogéochimie de l'eau et de l'atmosphère, modifient les caractéristiques et le fonctionnement de la couverture pédologique, et entraînent des variations de la biodiversité (Turner *et al.*, 1995). Dans les régions où l'agriculture est pratiquée depuis de nombreuses décennies, l'intensification de l'usage des terres dans les territoires agricoles se traduit localement non pas par une extension des territoires cultivés, sinon ponctuellement à travers le drainage d'une partie des zones humides, mais par des changements de pratiques culturales, par la suppression de haies bocagères ou encore par l'apport d'intrants et de pesticides, actions peu ou pas perceptibles à une échelle globale. Toutefois ces actions peuvent modifier fortement les cycles biogéochimiques, entraînant des processus d'eutrophisation et de dégradation de la qualité des eaux très dommageables sur le plan économique et sanitaire. De plus, les incidences de ces changements peuvent se révéler longtemps après qu'ils se soient produits.

Dans les régions d'agriculture intensive, les modifications des modes d'occupation des terres et des pratiques agricoles des 40 dernières années, et les changements consécutifs de structures paysagères telle que la régression des zones humides, ont contribué à une importante dégradation de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques. L'identification des processus qui ont engendré une forte dégradation de la qualité de l'eau depuis plusieurs décennies est relativement récente (Cheverry, 1998). Il a été montré que les modes d'occupation des sols et les pratiques culturales associées (fertilisation, gestion des intercultures…) jouent un rôle déterminant sur les flux de matières polluantes (Leynaud, 1992). En outre, les structures paysagères telles que le bocage et les zones humides de fonds de vallées influencent fortement les flux, tant sur le plan qualitatif que quantitatif (Mérot, 1999 ; Caubel, 2001, Clément, 2001). Les fortes concentrations en nitrates, les pics de pollutions par les pesticides, la contamination par le phosphore des eaux ont entraîné non seulement une dégradation des milieux aquatiques terrestres (eutrophisation) et littoraux (marées vertes) mais aussi de sérieux problèmes d'alimentation en eau potable et de lourdes pertes économiques pour les collectivités locales (coûts de traitements des eaux et de ramassages des algues, perte d'attractivité et de retombées touristiques). Ces problèmes sont d'autant plus préoccupants qu'ils présentent une forte inertie dans le temps. **Dans la plupart des régions agricoles intensives, la gestion de l'eau et par conséquent le suivi des changements d'usage des terres constituent aujourd'hui des enjeux majeurs.**

Les changements majeurs d'occupation et d'utilisation des sols font l'objet de recherches dans le cadre de programmes internationaux tels que les programmes LAND ou GAM (Geographic Analysis et Monitoring program), en raison des conséquences environnementales induites par ces changements (Lambin *et al.*, 1999 ; Muchoney, 2002). Ces programmes, qui ont pour objectif d'apporter des connaissances sur la nature, l'ampleur, les causes et les conséquences de ces changements, portent pour l'essentiel sur des mutations majeures à l'échelle globale, du type conversion d'espaces forestiers en espaces cultivés. *A contrario*, le plus souvent, les changements subtils, non perceptibles à l'échelle globale ou des grandes régions du monde, sont méconnus ou sous-estimés comparativement à des changements largement visibles depuis l'espace, bien que leurs conséquences environnementales puissent avoir de lourdes conséquences économiques et/ou sanitaires (Hubert-Moy, 2004 ; UNEP, 2005). **Ainsi, quand elles portent sur des changements plus subtils à l'échelle locale, étudiés sur de petits territoires, les recherches, que ce soit dans le cadre de ces grands programmes internationaux ou de programmes nationaux voire régionaux ou même locaux, sont focalisées sur l'inventaire détaillé des modes d'usage actuels des terres et des pratiques agricoles.**

L'amélioration des connaissances scientifiques sur les processus de transferts de flux au sein des unités hydrologiques a rapidement été mise au profit de la reconquête de la qualité de l'eau. Conscients des enjeux portant sur les modes d'occupation et d'usage des sols, et de gestion des structures paysagères telles que le bocage et des zones humides, les gestionnaires de l'eau pensent désormais la gestion qualitative et quantitative de l'eau à travers l'aménagement du territoire (Narcy, 2004). La restauration des haies de ceinture ou de haies « puits », la reconquête des zones humides de fonds de vallées, l'implantation de bandes enherbées ou d'une couverture hivernale des sols constituent des options d'aménagement fréquemment proposées relevant du génie écologique et se déclinant à l'échelle locale. **Ainsi, la gestion spatiale de l'eau passe par des actions à l'échelle locale, tant au niveau de l'allocation de l'usage des terres que du maintien, de la restauration, voire de la réhabilitation de structures paysagères. La réussite de ces actions suppose une vision concertée des territoires par les différents acteurs et gestionnaires impliqués.**

Toutefois, **dans une optique de développement durable, la gestion de l'eau ne doit être limitée à une vision locale de la situation actuelle, mais s'inscrire dans un contexte plus large et dans une perspective à long terme :**

L'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères sont dépendantes de facteurs locaux tels que l'évolution des exploitations agricoles (taille, organisation du travail) et de politiques locales (opérations de génie écologique dans le cadre de programmes environnementaux par exemple), mais également d'orientations agricoles et de réglementations nationales et internationales (politiques et marchés agricoles…).

Pour qu'elle soit efficace, la gestion de l'eau doit aussi s'inscrire dans une vision à long terme. Cette démarche ne se limite plus à des préconisations car elle s'inscrit désormais dans les exigences de la réglementation européenne à laquelle s'est adaptée la réglementation française. La Directive Cadre Européenne sur l'eau (directive 2000/60/CE du Parlement et du Conseil du 23 octobre 2000) impose aux états membres « le bon état écologique des masses d'eau naturelles et le bon état potentiel pour les masses d'eau artificielles et profondément modifiées » à l'horizon 2015 sous peine de sanctions financières. Les Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) et leur déclinaisons à l'échelle plus locale (les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux -SAGE-) intègrent ces contraintes. Ainsi, les gestionnaires de l'eau ont certes une obligation de résultats, mais aussi le temps pour mettre en place les moyens nécessaires pour y parvenir. **La gestion durable de l'eau se pose donc aussi en terme de gestion durable des activités et des territoires agricoles.**

Il existe à l'heure actuelle un certain nombre d'outils et de méthodes qui font ou pourraient faire office d'outils d'aide à la décision en matière de gestion durable de l'eau :

Les représentations des usages passés et actuels des sols sur des territoires sous la forme de cartographies synthétiques ont montré leur intérêt pour aider à la gestion de l'allocation spatiale des modes d'occupation des sols et des pratiques agricoles associées (Hubert-Moy et Gascuel-Odoux, 2001), des zones humides de fonds de vallées (Hubert-Moy *et al.*, 2003-a) et du bocage (Viaud, 2004). La plupart du temps issues du traitement de séries temporelles de

données de télédétection (photographies aériennes, images satellitaires, …) elles servent aussi bien aux agriculteurs, aux conseillers agricoles qu'aux gestionnaires de l'eau et autres acteurs locaux. Mais ces outils d'aide à la décision qui nécessitent de fréquentes mises à jour, et qui présentent une vision généralement assez statique et partielle du passé et/ou de la situation actuelle, ne proposent pas de vision du futur des territoires étudiés.

Plusieurs types de modèles permettent aujourd'hui de simuler des situations futures possibles des modes d'occupation des sols à moyen ou long terme (20-30 ans). Ainsi, des modèles tels que CLUE (Veldkamp and Fresco, 1996-a) ou Environment Explorer (Engelen *et al.*, 2002) sont de plus en plus utilisés dans le cadre de programmes internationaux (LUCC, INRA-WUR) ou nationaux afin d'aider à la mise en place de politiques économiques, environnementales ou de schémas d'aménagement du territoire (de Nijs *et al.*, 2004). Toutefois, bien qu'ils permettent d'intégrer une vision à long terme, ils ne sont applicables, pour la plupart, qu'à des échelles nationales ou régionales, et non locales. Des outils prédictifs spatialisés à l'échelle locale ont été développés pour simuler des situations à court terme (année suivante), telle que la probabilité d'occurrence de la couverture hivernale des sols à l'échelle parcellaire sur un bassin versant (Corgne, 2004). Ces représentations prédictives permettent de concentrer les efforts sur des zones à risque « probables » vis-à-vis de la qualité de l'eau et ainsi de mieux cibler à court terme les conseils auprès des agriculteurs. En revanche, ce type d'outil n'est pas utilisable pour simuler des changements à moyen et long terme.

La méthode des scénarios en prospective, particulièrement bien adaptée à la prise en compte de la dimension temporelle des territoires, est régulièrement mobilisée pour des études portant sur la gestion de l'eau. Par exemple, un programme international de prospective, le programme IMAGE, visait à une meilleure gestion de l'eau à un niveau mondial (Alcamo *et al.*, 1998). Toutefois, il existe relativement peu de travaux prospectifs réalisés à des échelles locales, bien que plusieurs auteurs, parmi lesquels Poux *et alii* (2001), aient mis en évidence l'intérêt de travailler à cette échelle, notamment au niveau de l'identification des enjeux et des sources de conflits locaux, de l'influence potentiellement forte de facteurs locaux sur les changements des modes d'usage des sols et des pratiques agricoles. En outre, les résultats de travaux prospectifs sont restitués la plupart du temps sous la forme de récits. L'avantage des récits réside dans l'espace de liberté fourni aux lecteurs - représentations mentales- pour prendre conscience des enjeux actuels et futurs des territoires, mais ils restent insuffisants pour bien mettre en évidence les espaces porteurs d'enjeux dans la réalité à l'échelle locale. Ceci est d'autant plus vrai qu'il a clairement été démontré que l'organisation spatiale des modes d'occupation des sols et des structures paysagères, issue des dynamiques des activités agricoles (Thenail, 1996 ; Baudry and Thenail, 2004) a une influence forte sur la dynamique des processus écologiques (Mérot, 1999 ; Burel *et al.*, 2000 ; Baudry *et al.*, 2003). Quelques travaux prospectifs ont cherché à donner une dimension spatiale aux scénarios prospectifs produits (Flaxman *et al.*, 1996 ; Steinitz *et al.*, 2003), mais à une échelle qui n'atteint pas la précision de la parcelle ou de la haie.

Finalement, si l'approche prospective, à travers la méthode des scénarios, apparaît une alternative intéressante aux modèles prédictifs spatialisés pour constituer un outil d'aide à la gestion de l'eau, elle n'a pas encore été utilisée et évaluée pour produire des scénarios spatialisés à l'échelle locale.

Dans le contexte de paysages fragmentés où l'agriculture structure fortement les modes d'usage des sols et les dynamiques paysagères et affecte sensiblement la qualité de l'eau, la mise en place d'outils d'aide à la décision pour une meilleure gestion de la ressource en eau, intégrant une approche locale et une vision à long terme, est devenue inéluctable. Toutefois, s'il apparaît nécessaire, le couplage d'une approche spatiale adaptée à l'étude d'un territoire à l'échelle locale et d'une approche prospective permettant de produire des images sur le futur à moyen ou long terme de ce même territoire, soulève un certain nombre de questions d'ordres conceptuel et méthodologique. Par exemple, quels types de scénarios employer pour mettre en valeur les changements futurs d'usages des terres qui impliqueront des modes différenciés de gestion de l'eau à moyen et long terme ? Comment donner une dimension spatiale à des scénarios prospectifs ? Quelle est la place de la dimension spatiale dans une démarche prospective territorialisée ?

Ainsi, trois objectifs sont poursuivis dans ce travail de thèse :

Le premier objectif est de produire des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale dans un cadre méthodologique générique. En géographie, la modélisation dynamique de systèmes complexes est le plus souvent réalisée à travers la production de simulations prédictives avec des modèles. Or, pour balayer la gamme des futurs possibles à moyen et long terme d'un territoire donné, l'approche à emprunter doit relever délibérément du domaine de la prospective et non du domaine de la prédiction. L'approche reposant sur la méthode dite des scénarios utilisée en prospective peut *a priori* constituer un cadre méthodologique générique adapté à la réalisation de scénarios prospectifs spatialisés. Toutefois, l'application de cette approche nécessite d'une part la définition d'un cadre méthodologique générique prenant en compte le caractère spatial de la démarche et d'autre part le développement de méthodes adaptées pour déterminer les trajectoires d'évolution spatio-temporelles de l'occupation et de l'utilisation des sols et spatialiser à l'échelle locale les scénarios prospectifs.

Le second objectif de cette thèse est de spatialiser à une échelle fine et de façon réaliste des scénarios prospectifs. D'une façon générale, les études prospectives s'attachent à prendre en considération des tendances d'évolution lourdes ainsi que des évènements peu probables sur les plans économique, démographique, politique, etc. Le plus souvent, ces évolutions sont représentées de façon schématique sur le plan spatial, par exemple à travers l'érosion ou la dilatation de formes spatiales existantes. Les récentes avancées effectuées dans le domaine de la modélisation des systèmes complexes ont montré que d'autres méthodes, prenant notamment en compte les interactions spatiales entre les différents éléments d'un même système, peuvent apporter à la prospective les moyens de produire des images du futur plus réalistes sur le plan spatial. Ainsi, ce type de méthodes peut apporter une plus-value significative en amont mais aussi en aval du processus de modélisation en donnant une dimension spatiale aux images du futur : ces recherches reposent sur l'hypothèse que les représentations spatiales prospectives peuvent *a priori* constituer des outils d'aide à la conciliation et au dialogue entre les personnes participant à l'exercice prospectif, au même titre que le jeu ou d'autres outils de modélisation tels que les systèmes multi-agents (Piveteau, 1995 ; Bousquet, 2001).

Le troisième et dernier objectif de la thèse est de produire des scénarios prospectifs spatialisés qui constituent un outil d'aide à la décision destiné aux gestionnaires et aux acteurs locaux. Il s'agit d'apporter un corpus de connaissances sur les évolutions possibles de paysages agricoles fragmentés -en l'occurrence ici de type bocager- en développant des méthodes reproductibles. L'analyse des évolutions futures définies dans les scénarios et de leurs impacts sur la qualité de l'eau doit permettre de déterminer les moyens à mettre en œuvre afin d'améliorer la gestion de l'eau. Ces connaissances sont donc destinées à éclairer les acteurs et les gestionnaires de l'eau dans leurs décisions et n'ont pas vocation à montrer le devenir « probable » d'un territoire, ou « la voie » à suivre. En outre, ces méthodes visent à la reproductibilité : si elle peut aider à la gestion spatiale de l'eau à l'échelle d'un petit bassin versant (quelques dizaines de km²), l'application de tels outils sur des territoires représentatifs de la diversité paysagère doit pouvoir éclairer, par extrapolation, les décideurs à agir sur d'autres territoires similaires, sur des espaces plus vastes.

Le choix du terrain d'application de ces recherches s'est porté sur la Bretagne, une région caractérisée par un contexte agricole intensif, où la qualité de l'eau représente un enjeu majeur depuis plus de deux décennies. Plus précisément, les recherches ont été menées en Bretagne Centrale, sur trois sites d'étude localisés sur un bassin versant faisant l'objet d'un SAGE, le Blavet. Le volet prospectif de ce SAGE en a constitué le cadre applicatif.

Cette thèse, dont la problématique se situe à l'interface société-environnement, est structurée en quatre parties :

La première partie présente la problématique de la modélisation prospective de l'occupation et de l'utilisation des sols et des structures paysagères dans des paysages agricoles fragmentés. Le premier chapitre expose les changements d'usages des terres en Bretagne et leurs impacts sur la qualité de l'eau, en en analysant les enjeux à différentes échelles spatio-temporelles. Le second chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur l'utilisation de l'approche prospective dans le domaine de l'environnement et la démarche méthodologique des scénarios. Le troisième chapitre aborde successivement : (1) la modélisation de la complexité, thème de recherche commun à la prospective et à la géographie, impliquant cependant pour cette dernière le développement de méthodes de spatialisation ; (2) le cas particulier de la modélisation des changements à moyen ou long terme des modes d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères qui est envisagé à travers différentes approches et méthodes existantes ; (3) la définition d'une approche méthodologique de construction de scénarios prospectifs spatialisés détaillant toutes les étapes de la démarche, du choix des sites d'étude à l'évaluation des scénarios.

La seconde partie est consacrée à la première phase de tout exercice de prospective : la construction de la « base », qui précède l'élaboration des scénarios. Elle présente tout d'abord le cadre d'application de ce travail, c'est-à-dire le bassin versant du Blavet et son SAGE, et les sites d'étude choisis. Ensuite, les trajectoires d'évolution spatio-temporelle des modes d'occupation des sols et des structures paysagères sont reconstituées. Puis, les facteurs explicatifs des changements passés et actuels observés sont identifiés et hiérarchisés. Enfin, le fonctionnement du système « Paysage agricole bocager » est appréhendé par le biais d'une approche systémique, où les processus d'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères et les enjeux prospectifs sont mis en évidence.

La troisième partie est dédiée aux méthodes de construction, de spatialisation et d'évaluation des scénarios prospectifs. Deux démarches sont privilégiées selon les enjeux prospectifs identifiés ou les objectifs poursuivis : une démarche exploratoire *(forecasting)* et une démarche normative *(backcasting*), qui impliquent des méthodes de spatialisation différentes. Le premier chapitre de cette partie présente les hypothèses de construction des scénarios prospectifs exploratoires et normatifs, ainsi que les deux approches utilisées pour évaluer l'apport de ces scénarios : quantitative *via* l'utilisation de descripteurs et de modèles environnementaux et qualitative à travers la restitution des résultats à des gestionnaires et des acteurs locaux. Le dernier chapitre de cette partie présente les méthodes employées pour donner une dimension spatiale à ces scénarios.

La quatrième partie présente les résultats obtenus. Ainsi, sont successivement exposés : les scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale sous la forme de représentations spatiales et de récits ; l'évaluation des impacts potentiels des scénarios sur les transferts d'eau et de flux polluants à travers l'analyse des descripteurs et les résultats des modèles environnementaux ; enfin, la restitution des scénarios prospectifs spatialisés et de leurs apports aux acteurs locaux et aux gestionnaires, qui constitue une forme d'évaluation des scénarios élaborés et plus largement de la démarche prospective adoptée.

Ces recherches s'inscrivent dans le cadre du programme Zone Atelier « Bretagne Continentale » du PEVS (Programme Environnement, Vies et Sociétés du CNRS), dont l'objectif est d'étudier, sur le long terme, à partir de sites ateliers, les interactions entre les changements d'utilisation des terres et l'environnement (Responsables : J. Baudry et P. Mérot). En outre, une partie de cette thèse, la reconstitution des trajectoires spatio-temporelles d'occupation des sols, a été contractualisée à travers une étude menée pour l'Institution Interdépartementale du SAGE du Blavet (« Etude diagnostique de l'évolution de l'occupation des sols sur 3 sous bassins versants du Blavet entre 1952 et 2002 », Volet prospectif du SAGE Blavet, 2002-2004). Elles ont donc bénéficié d'un co-financement de l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, des Conseils Généraux du Morbihan et des Côtes d'Armor, du Conseil Régional et de la DIREN Bretagne.

PARTIE 1

MODELISATION PROSPECTIVE DE L'OCCUPATION ET L'UTILISATION DES SOLS DANS DES PAYSAGES AGRICOLES FRAGMENTES : ENJEUX ET METHODOLOGIE

Introduction

Les changements d'occupation et d'utilisation des sols, en raison des impacts qu'ils peuvent générer sur l'environnement, ne doivent plus être envisagés à court terme. Ainsi, l'homme peut agir sur le milieu sans que les répercussions de ses actions soient immédiatement perceptibles. Il n'est pas rare de constater que des actions individuelles ou collectives comme des opérations d'aménagement ont des conséquences préjudiciables sur les milieux 10, 20 ou 30 ans plus tard. La dégradation des milieux peut être révélée par un effet « à retardement » ou encore par un changement de perception des milieux lié par exemple à la mise en évidence par les scientifiques de leurs fonctions environnementales.

L'intensification de la production agricole dans l'Ouest de la France durant les 40 dernières années a provoqué des changements d'usage des sols et des mutations au niveau des structures paysagères qui ont engendré une importante dégradation de la qualité des eaux. Les conséquences des transformations des paysages et des pratiques agricoles n'avaient pas été envisagées, les préoccupations environnementales n'étant à l'époque pas aussi centrales qu'aujourd'hui. Les recherches menées pour comprendre les causes de ces dégradations environnementales ont mis à jour l'ampleur des problèmes environnementaux, et par incidence ont participé à la diffusion de la nécessité d'une agriculture durable. L'émergence du concept de développement durable, qui est défini comme « un développement permettant de répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins »[1], constitue le fondement d'une vision globale et lointaine dans l'avenir de la gestion des ressources naturelles.

La prospective constitue une des approches les plus adaptées pour envisager les futurs possibles d'un territoire et aider les aménageurs et acteurs locaux à prendre des décisions. Elle ne vise pas à prédire l'avenir mais bien à donner, sous certaines hypothèses, une représentation des situations futures probables. Discipline récente, elle s'est dotée d'outils méthodologiques pour y parvenir, dont les scénarios sont parmi les plus répandus. Les scénarios prospectifs, fondés pour la plupart sur une structure narrative, montrent des lacunes dans la représentation spatiale des images des futurs possibles d'un territoire. En parallèle, les développements et avancées en matière de méthodes de représentations spatiales ont été très importants en géographie durant les dix dernières années. Il est dès lors envisageable d'emprunter à ces deux disciplines des méthodes permettant de fournir des visions spatialisées précises à plus ou moins long terme de territoires porteurs d'enjeux afin d'aider à leur gestion et à leur développement de façon durable.

L'objectif de cette partie est de présenter et d'analyser la problématique de la modélisation prospective de l'occupation et de l'utilisation des sols et des structures paysagères dans des paysages agricoles fragmentés, sur des territoires présentant de forts enjeux environnementaux, notamment vis-à-vis de la gestion de la ressource en eau.

[1] Première phrase du rapport *Bruntland* (ONU, 1987)

Le premier chapitre de cette partie présente la façon dont l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des terres et des pratiques agricoles a engendré une dégradation des ressources en eau, en en analysant les enjeux à différentes échelles spatio-temporelles. Elle effectue également une analyse critique des programmes de reconquête de la qualité de l'eau, certains d'entre eux visant à une gestion durable et à long terme de la ressource.

Le second chapitre a pour objectif de présenter de façon synthétique l'histoire, les fondements, les applications, les outils de la prospective en général, mais aussi de montrer quelle est l'utilisation de l'approche prospective dans le domaine de l'environnement et d'exposer la démarche méthodologique des scénarios.

Enfin, dans un troisième et dernier chapitre, la modélisation de la complexité est d'abord abordée du point de vue de la prospective et de la géographie. Les méthodes et outils utilisés en géographie pour modéliser spatialement cette complexité sont présentés et analysés. Le cas particulier de la modélisation prospective de l'occupation et de l'utilisation des sols et des structures paysagères est ensuite envisagé à travers les différentes approches et méthodes existantes. Enfin, d'après les enseignements tirés des chapitres précédents, une démarche méthodologique générique est proposée pour réaliser des scénarios prospectifs spatialisés. Cette méthodologie constitue le fil directeur du développement des trois autres parties de cette thèse.

CHAPITRE 1 - Evolution des paysages agricoles bocagers et son impact sur la qualité de l'eau : des enjeux différents selon les échelles spatio-temporelles considérées

Les phénomènes climatiques et biophysiques ont été longtemps les moteurs principaux des transformations des surfaces terrestres, l'homme est aujourd'hui à l'origine de la majeure partie des transformations qui affectent les écosystèmes terrestres (Steffen *et al.*, 2004). Les changements intervenant dans les modes d'occupation et d'utilisation des sols engendrent des impacts au niveau des processus qui contrôlent les écosystèmes (figure 1). Par exemple, l'intensification de l'usage des terres, à travers l'emploi massif d'engrais, de fertilisants et de produits phytosanitaires, entraîne des impacts environnementaux, parmi lesquels une forte dégradation de la qualité de l'eau et des sols.

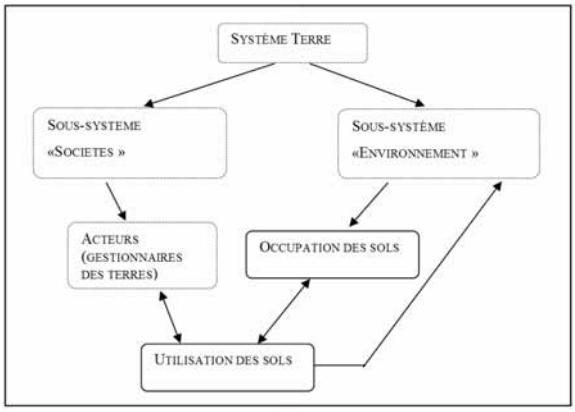


Figure 1. Cadre conceptuel de l'occupation et l'utilisation des sols (Hubert-Moy, 2004)

Dans certaines régions, les aménagements effectués sur le territoire agricole majorent et accélèrent les transferts de flux et de matières vers les cours d'eau (drainage des zones humides, multiplication de drains et fossés, suppression du réseau bocager…), pouvant provoquer de graves phénomènes d'érosion des sols. L'impact de l'occupation et de l'utilisation des sols sur l'environnement dans des régions d'agriculture intensive, thème largement présent dans la littérature scientifique, que ce soit dans des paysages ouverts de grandes cultures (Haith, 1976 ; O'Callaghan, 1996 ; Sheridan, 2002) ou que ce soit dans des paysages de type bocager (Mérot et Jigorel, 1996 ; Cheverry, 1998) a été démontré.

En Bretagne, l'intensification agricole sans précédent depuis la fin de la Seconde guerre Mondiale a propulsé la région au premier rang des régions agricoles françaises au niveau des productions animales. Mais elle a engendré une forte dégradation de son environnement, et plus particulièrement de la qualité des eaux de surfaces et dans certains cas des eaux profondes. Les conséquences sur l'alimentation en eau potable et sur la facture des consommateurs ont provoqué l'émergence d'une forte demande sociale en matière de gestion de la ressource hydrique et son corollaire de programmes d'actions.

Dans un premier temps, nous aborderons les évolutions passées et récentes des paysages agricoles bocagers et leurs conséquences sur l'environnement.

Dans un second temps nous exposerons succinctement les processus qui interviennent dans la dégradation des ressources en eau dans des paysages agricoles de type fragmenté.

Enfin, nous présenterons les différentes échelles spatiales et temporelles de la gestion de l'eau, la superposition des programmes d'actions et la multiplicité des gestionnaires en bridant l'efficacité.

1.1. Mutations agricoles et paysagères passées et impacts sur l'environnement : l'exemple de la Bretagne

Le territoire agricole actuel de la Bretagne est une mosaïque fragmentée et variée issue des changements successifs d'usages des terres et d'aménagements paysagers. Ils sont intervenus sur un milieu physique hétérogène, dont les changements, sur une période de quelques décennies, ne sont pas ou peu perceptibles à l'échelle régionale. La pression exercée par les usages actuels des terres sur l'environnement, en particulier sur la ressource en eau, diffère en fonction de la configuration physique des milieux sur lesquels elle s'exerce, mais aussi de la présence, de la répartition et de l'état des structures paysagères encore présentes.

1.1.1. L'évolution des usages des terres et des paysages agricoles bocagers

Les modifications majeures de cinquante dernières ne se sont pas produites sur un territoire agricole stable et figé. Retracées par Hubert-Moy (2004), elles s'inscrivent dans des trajectoires historiques qui expliquent en partie les changements actuels dans l'usage des sols, et par conséquent la pression anthropique exercée sur le milieu.

1.1.1.1. Les changements historiques

Au XVIIIème siècle, tandis que seulement 20% environ de la superficie des exploitations agricoles seulement sont cultivés chaque année avec des rendements très faibles, les landes et les jachères occupent une place importante, estimée à 44% de la surface agricole en 1840 (Daucé et Léon, 1982). Ce système agraire extensif hérité de l'ancien Régime a perduré jusqu'au milieu du XIXème siècle, alors qu'un modèle agraire intensif de polyculture-élevage s'impose progressivement. Ce système a vu le jour sous l'action conjuguée de deux facteurs, une pression démographique accrue et l'introduction de cultures et techniques nouvelles (remplacement du seigle et du sarrasin par le blé et l'avoine, suppression de la jachère remplacée par des cultures fourragères et des plantes sarclées). Cette première révolution agricole s'est traduite à la fois par une extension des surfaces agricoles (+ 31% entre 1840 et 1929 par l'élimination progressive des jachères et la disparition de près de la moitié des landes) et une intensification qui apparaît à travers l'augmentation du cheptel et de sa productivité, l'amélioration des rendements céréaliers et la généralisation de la pomme de terre, etc (Canévet, 1992). Mais la productivité du travail demeure faible - les producteurs bretons travaillant dans de petites exploitations, au milieu du siècle, ils représentaient 9 % des exploitations agricoles françaises mais n'assuraient que 7 % de la production-, la mécanisation est encore limitée, et globalement la Bretagne est caractérisée jusque dans les années soixante par une agriculture de subsistance à faibles rendements, en marge de l'économie de marché. C'est alors une région périphérique encore enclavée, largement rurale et où domine la population active agricole. Ainsi, Canévet (1992) rapporte successivement les propos de l'agronome anglais Young (1931) qui, dans ses *Voyages en France* en 1797 dressait un portrait peu flatteur des campagnes bretonnes : « C'est une misérable région où les populations arriérées vivent dans un état de pauvreté et de saleté repoussante… Dans ce que

j'ai vu de cette province, un tiers me semble inculte et presque la moitié dans la misère […] Des landes, des landes, des landes […] La plupart des rendements sont pitoyables […] L'agriculture n'est pas plus avancée que chez les Hurons » et ceux du géographe Le Lannou (1952) qui déplorait le manque de modernisation de cette agriculture traditionnelle, réputée attardée. A l'inverse, la Bretagne est présentée dès les années 70 comme une région dynamique, en pointe, dotée d'une agriculture industrielle très performante (Brunet et Frémont, 1972).

Ces étapes de la progression des surfaces cultivées ont été accompagnées d'une évolution des structures paysagères. Les traits caractéristiques du paysage bocager armoricain n'ont été véritablement acquis qu'au cours des IXème et Xème siècles. Le bocage s'est alors largement développé entre le XVIème et le XVIIIème siècle, mais de façon hétérogène, laissant place à de larges enclaves ouvertes, comprenant les « champagnes » et les landes de la Bretagne intérieure (Antoine, 2002). Au XVIIIème siècle la construction progressive du bocage visait d'abord à séparer les champs cultivés du *saltus* où les animaux pouvaient pâturer librement. Pendant le XIXème siècle, ces haies, renforcées par la plantation de nouveaux arbres et l'installation de fils barbelés et utilisées pour contenir le bétail sont encore en extension, et accompagnent ainsi la « Révolution herbagère » (Marguerie *et al.*, 2003). La « bocagisation » est renforcée par la privatisation de l'espace qui engendre une implantation de haies pour marquer physiquement les limites de propriétés lors des successions familiales (Flatrès, 1979). Puis le bocage a régressé ponctuellement et lentement jusque dans les années 50, à la faveur d'initiatives individuelles, la période d'extension maximale du bocage étant située à la fin de la première guerre mondiale (Flatrès, 1986).

1.1.1.2. Des changements récents majeurs à l'échelle régionale : « de la ferme à la firme »[2]

Ainsi, caractérisée il y a encore moins d'un demi-siècle par une polyculture de subsistance, considérée comme une région pauvre dotée d'une agriculture familiale archaïque, la Bretagne a basculé en une génération vers un système agro-industriel intégré, un modèle agricole intensif très ouvert sur l'économie de marché. Le système de polyculture-élevage qui prédominait depuis le milieu du XIXème a poursuivi son intensification durant les années 50-60 en se mécanisant rapidement et en améliorant nettement ses rendements notamment par l'apport d'engrais chimiques et de semences sélectionnées, avant d'éclater sous l'effet de l'industrialisation des productions animales, laissant ainsi la place au système agro-industriel actuel (Canévet, 1992). Cette évolution est liée à l'arrivée d'une nouvelle génération de responsables agricoles qui entreprend de faire face à au déficit structurel de la production agricole de l'époque et à la mobilisation des pouvoirs publics pour les accompagner. Par la modernisation des infrastructures de transport, un encadrement renforcé des exploitations agricoles et le développement des industries en aval et en amont, la Bretagne a intensifié de manière considérable ses productions animales et ses cultures légumières.

Les productions animales on connu un bond en avant spectaculaire en 40 ans avec par exemple une multiplication du nombre de porcins et de volailles respectivement par 9 et 10 entre 1955 et 1990 (ONIC, 1955 et 2000), s'accompagnant d'un quasi-doublement des cultures fourragères sur la même période (537000 ha en 1950 pour 1040800 ha en 1990). La progression des productions agricoles pendant cette période n'est pas liée, comme précédemment à une extension des surfaces cultivées, mais à un processus d'intensification liée au développement du système « hors sol ».

[2] Expression empruntée à Corentin Canévet, 1992, *Le modèle agricole breton*, PUR.

Le caractère intensif de l'agriculture bretonne, avec une intensivité à l'hectare qui atteint voire dépasse le double de la moyenne nationale, s'explique par la présence conjuguée de systèmes d'utilisation du sol reposant davantage sur les cultures fourragères (maïs, ray-grass…) que sur les prairies permanentes, de productions végétales spécialisées de type légumier, d'ateliers hors sols, essentiellement de type volailles et porcs et de productions animales classiques de type laitiers ou bovin-viande.

Entre 1950 et 1990, l'utilisation agricole des sols est très majoritairement, pour environ 90%, au service des productions animales (Daucé et Léon, 1982 ; Canévet,1992) : les cultures fourragères –maïs, prairies artificielles et plantes sarclées fourragères occupent 50% de la SAU (1 ha sur cinq pour le maïs, 1 sur quatre pour les prairies), les céréales destinées à l'alimentation des volailles et des porcs couvrent 25% des surfaces, tandis que les prairies permanentes totalisent 18% de la SAU et que les cultures légumières, représentant environ 1/5 des superficies légumières nationales occupent le reste. Tandis que les prairies permanentes régressaient régulièrement sur l'ensemble de la période, les prairies temporaires se sont généralisées à partir des années 60 puis le maïs fourrager s'est étendu à partir des années 70 au détriment des céréales. L'application des quotas laitiers après 1984, mais surtout la mise en place des primes lors de la réforme de la PAC de 1992, ont entraîné le redéploiement des céréales et du maïs au détriment des prairies, qui diminuent alors sensiblement.

Même si l'utilisation agricole des surfaces est toujours dominante sur les dix dernières années les surfaces agricoles cultivées ont perdu 82 000 ha, atteignant 64 % en 2002, prolongeant une évolution enclenchée depuis les années 70 (figure 2). Cette diminution s'est produite au profit des surfaces « naturelles » (+13 99 ha pour les friches, + 13 800 ha pour les superficies en herbe à faible productivité potentielle + 9 300 ha pour les surfaces boisées) et des surfaces « artificielles » (+ 40 000 ha, soit une progression de +24%).

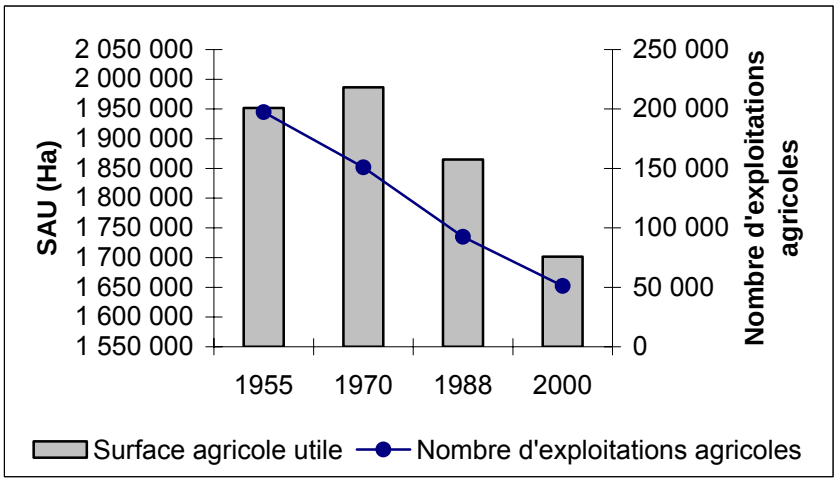


Figure 2. Evolution de la SAU et du nombre d'exploitations agricoles en Bretagne entre 1955 et 2000 (sources ONIC, 1955, 1970, 1988 et 2000 *in* Bretagne Environnement)

Au sein de la surface agricole utilisée, la surface fourragère continue de baisser : de 73 % dans les années 80, sa part est passée à 57 % en 2000. Cette évolution à la baisse est permise par la stabilisation des besoins fourragers, destinés principalement à une production laitière sous quotas, et par l'intensification de la surface fourragère restante. Ainsi, la surface toujours en herbe cède chaque année du terrain au profit des prairies temporaires et du maïs fourrage plus productifs (respectivement 51 % et 30 % de la surface fourragère). La réduction

de la surface fourragère s'est faite au début des années 1990 au profit des surfaces cultivées en céréales ; en incluant les jachères obligatoires de la PAC, ces surfaces constituent désormais 36 % de la SAU (Agreste, 2003).

A l'issue de plus de trente années de croissance soutenue, la Bretagne s'est imposée au 1er rang des régions agricoles françaises. En 2000, les exploitations bretonnes fournissent 12% de la production agricole française et la Bretagne est au 1er rang sur le plan national pour plusieurs de ses filières : elle assure 56 % du volume national de la production porcine, 21 % de la production laitière, respectivement 47% et 36% des productions de dindes et poulets de chair, 46% des œufs, 73 % des choux-fleurs et artichauts (Agreste, 2003). La Bretagne se situe également au premier rang de la production de haricots verts, pommes de terre primeurs, épinards et échalotes. Elle occupe ainsi le premier plan européen pour un certain nombre de productions (porcine, avicole et laitière) étant comparable, en volumes de productions, à certains états du nord de l'Europe, tels que le Danemark, les Pays-Bas ou l'Irlande.

L'économie bretonne est ainsi fortement marquée par son activité agricole et l'industrie agroalimentaire qui l'accompagne (Agreste, 1998 et 2003). Ainsi, en 1991, avec seulement 6% de surface agricole et 5% du nombre d'exploitations, en forte régression depuis 1955 (figure 2), l'agriculture assure 12% de la production nationale brute, contre 6% en 1950. En 2000, l'agriculture bretonne emploie 76 000 actifs, soit 7% de la population active de la région et contribue pour 6 % à son produit intérieur brut (à l'échelle du pays, la population active agricole représente 3,4 % des actifs et contribue pour 2,8 % au PIB). Clé de voûte de l'agriculture bretonne, les productions animales intensives structurent toujours l'ensemble de la filière agroalimentaire régionale : elles représentaient 22% de la production animale française en 1985 ; 7 exploitations sur 10 ont encore actuellement une activité principalement tournée vers l'élevage, la surface agricole étant très largement au service des productions animales et productions légumières.

Ces changements de production agricole se sont accompagnés de bouleversements majeurs au niveau du paysage agraire : à partir des années 1960, la modernisation des techniques agricoles, en particulier l'augmentation de la taille des engins, change le regard porté sur les haies bocagères qui deviennent des obstacles dans des parcelles trop étroites. Depuis cette époque, les parcelles se sont agrandies et plus des deux tiers des talus et taillis ont été supprimés. Pour les communes qui n'ont pas subi de remembrement entre 1950 et le début des années 1990, l'abandon de la pâture a provoqué la disparition du maillage bocager dans les secteurs de grande culture et d'élevage hors-sol, tandis que là où l'alliance culture/pâturage demeure, le maillage s'est seulement élargi : 30 à 50 % des haies y ont été supprimées (Marguerie *et al.,* 2003 ; Baudry et Jouin, 2003). A l'agrandissement des parcelles, et à la régression du réseau bocager se sont ajoutées d'autres opérations de remaniement du paysage agraire telles que le drainage des zones humides ou la suppression de fossés.

1.1.1.3. … mais aux rythmes et aux intensités variables localement

Ce qu'il est convenu d'appeler le « modèle agricole breton » n'est pas un modèle unique, homogène et aux contours bien définis (Mahé *et al.,* 1998). Il prend des formes diversifiées notamment selon la nature des productions développées (productions de masse, mais aussi productions spécialisées), les processus de production adoptés (intensifs dans certains endroits, extensifs ailleurs), la taille des exploitations (grosses exploitations concentrées et spécialisées versus petites exploitations pluri-activités) et a connu une distribution spatiale différenciée. Canévet (1992) montre bien que le mouvement

d'intensification qui s'est produit au cours des quarante dernières années n'a pas touché uniformément l'ensemble de la région Bretagne, mais a plutôt accentué des contrastes régionaux préexistants qui étaient peu marqués, la région étant avant les années soixante caractérisée par un même système de polyculture-élevage avec des aires de spécialisations où l'orientation agricole n'était pas unique.

L'utilisation des sols actuelle apparaît ainsi comme le résultat de mouvements flux et reflux d'aires de productions dans le temps. A la fin des années 80, la distribution des productions agricoles présente des différences spatiales accusées tant pour les productions végétales qu'animales, les aires de production s'étant déplacées et concentrées sur des bassins agricoles de plus en plus intensifs, selon des trajectoires différenciées. Les contrastes élevés actuels dans la répartition des productions végétales s'expliquent par les conditions naturelles, les structures foncières, la fidélité à des systèmes de production, ou la perméabilité à l'introduction de nouveaux systèmes. La figure 3 montre l'hétérogénéité atteinte en 1988 au niveau de la répartition des cultures dominantes en Bretagne.

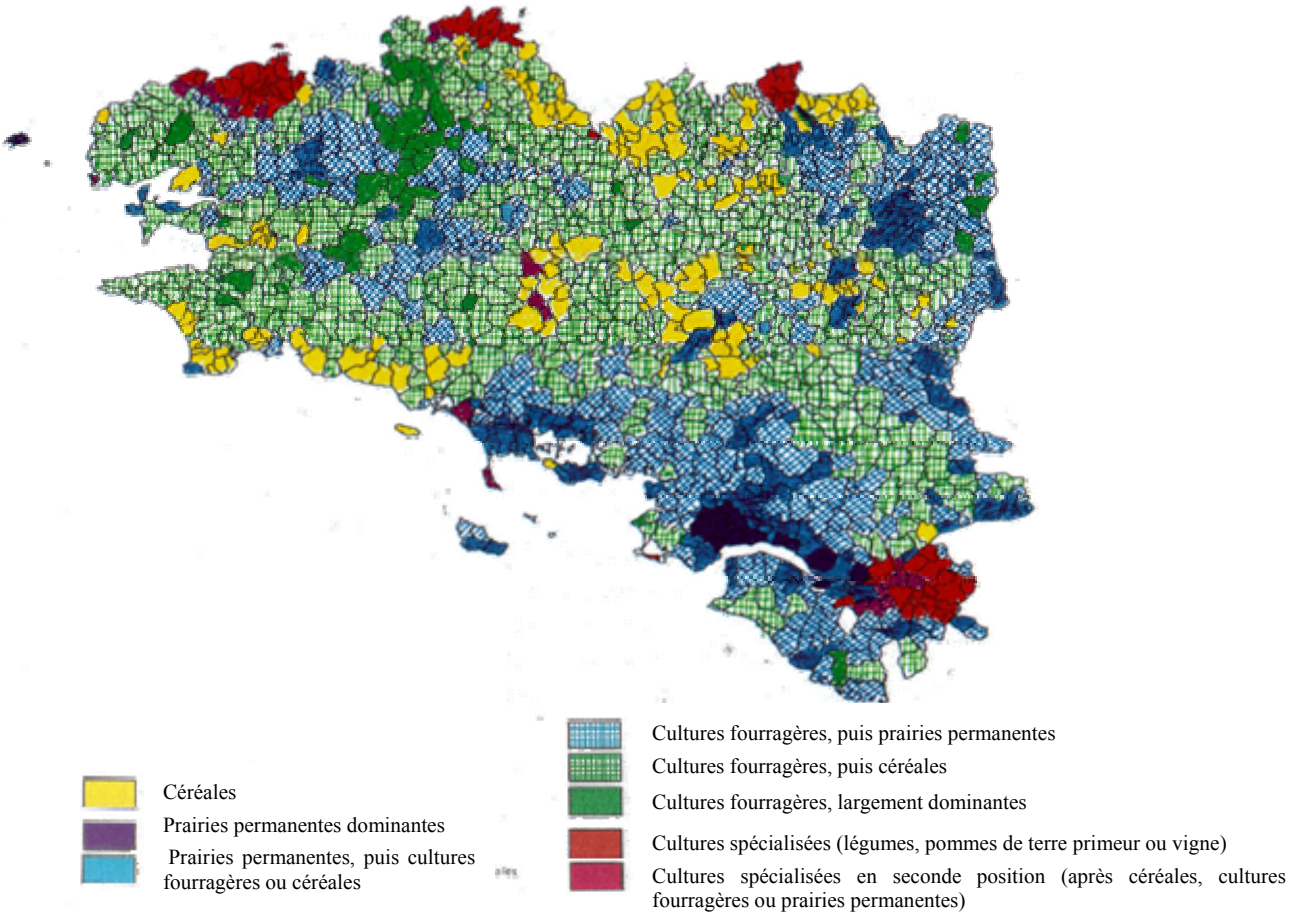


Figure 3. Les cultures dominantes en 1988 (*in* Canévet, 1992)

Dans les années 90, trois grands types d'espaces agricoles émergent (figure 4) : (1) les bassins très intensifs comprenant le Léon, une aire centrale englobant la moitié des Côtes d'Armor et le tiers du Morbihan, une partie du bassin de Châteaulin ; (2) les aires d'intensité moyenne avec quelques foyers qui tendent vers le groupe précédent (frange est de l'Ille et Vilaine, zone de Broons - Montauban-de-Bretagne) ; (3) les campagnes extensives –à l'échelle de la Bretagne- : Sud-ouest du Morbihan, Monts-d'Arrée et les prolongements vers Plestin-les-Grèves – Perros-Guirrec et quelques secteurs isolés sur la moitié nord de l'Ille et Vilaine.

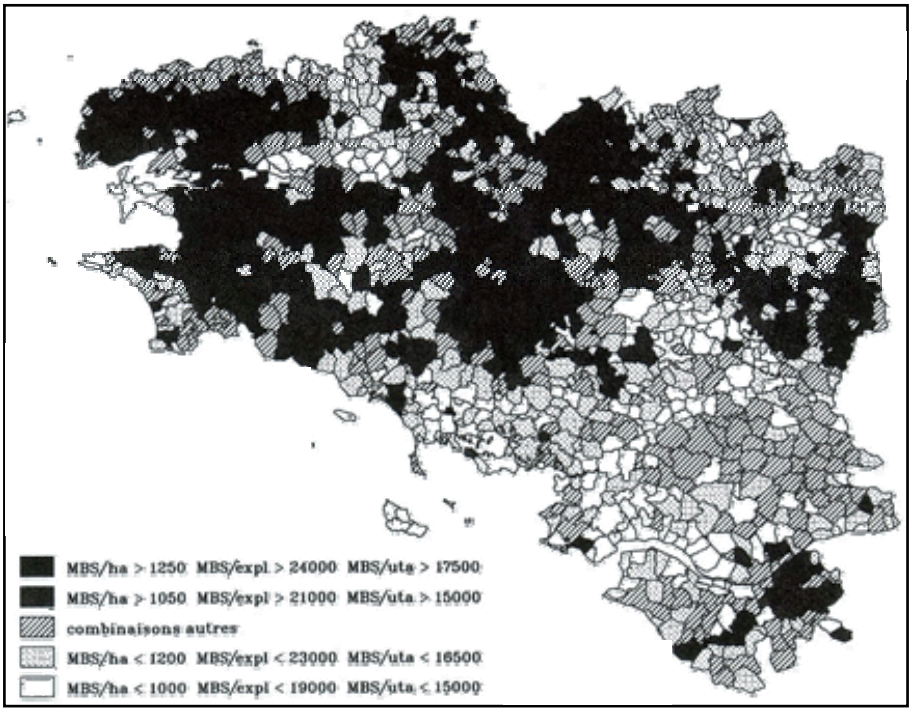


Figure 4. Typologie communale en 1988 en fonction de la MBS par hectare, par exploitant et par UTA (MBS base 1986) (*in* Canévet, 1992)

Les restructurations paysagères qui accompagnent le mouvement d'intensification agricole sont de différentes intensité et ampleur selon les secteurs. Ainsi, seule une partie des communes ont connu les remembrements de type table rase des années 70, certaines ayant vu leur réseau bocager diminuer localement et de façon progressive à la faveur d'initiatives individuelles, d'autres n'ayant pas été touchées du tout. Les atteintes aux zones humides sont différentes d'un secteur à l'autre, allant du drainage intégral à la non intervention. Les pressions exercées sur le milieu ont donc suivi des trajectoires locales différenciées dans le temps et dans l'espace, mais elles ne sont ni localisées, ni quantifiées.

1.1.2. Dégradation de la qualité de l'eau et changements des paysages agricoles bocagers : la nécessaire prise en compte de l'échelle locale

Une des conséquences environnementales majeures des changements d'usages et d'occupation des terres en Bretagne est la dégradation de la qualité de l'eau. Des phénomènes d'érosion au sein du parcellaire agricole résultant de l'arasement de haies bocagères s'observent également à travers les campagnes. Des phénomènes de crues affectent des terrains qui ne l'étaient pas avant car l'eau n'est plus autant retenue sur les versants.

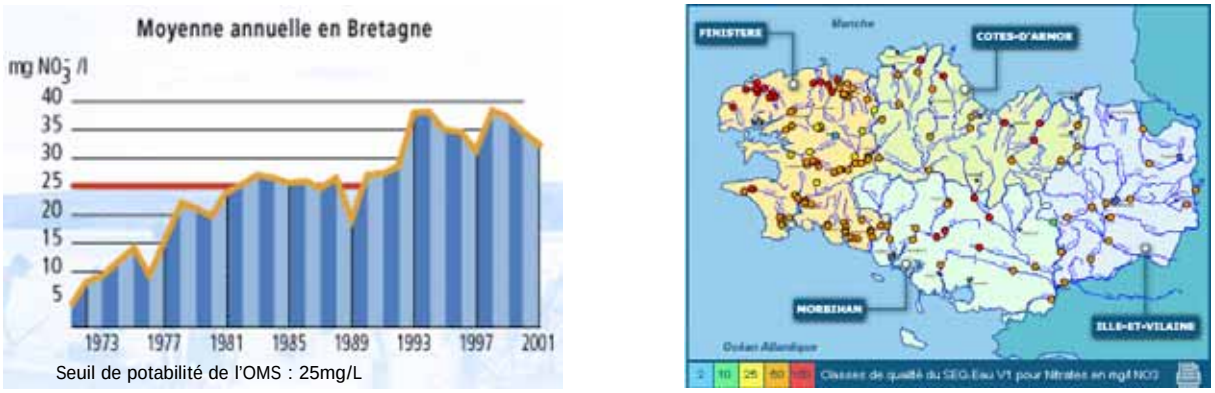
Ces dégradations sont liées à certains modes d'occupations des sols et des pratiques agricoles associées mais aussi à la nature et la configuration spatiale des structures paysagères.

1.1.2.1. La dégradation de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques

1.1.2.1.1. De l'augmentation des flux polluants…

L'eau en Bretagne a été contaminée au cours des 30 dernières années par différents types de polluants, notamment les nitrates, les pesticides et les phosphores dont la majeure partie est liée aux pratiques agricoles, le reste provenant des particuliers, des collectivités locales ou des entreprises privées.

La concentration en nitrates a augmenté de manière constante depuis le début des années 1970 comme le montre la figure 5-a., dépassant le seuil de potabilité défini par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) dès le début des années 1980. C'est l'ensemble du réseau hydrographique qui est touché par cette dégradation (figure 5-b)



(a) (b)

Figure 5. Concentrations en nitrates : (a) évolution des concentrations moyennes annuelles sur la période 1972-2001 et (b) concentrations en 2001 aux points de prélèvements du réseau SEQ-Eau (source : DIREN, 2004)

Bien que la situation paraisse dégradée, elle semble plus dramatique lorsque l'on considère les flux d'azote. Le flux spécifique interannuel moyen est de l'ordre de 3700 Kg/Km²/an d'azote alors que ceux de la Seine, du Rhin ou de l'Elbe seraient de l'ordre de 1450 Kg/Km²/an (CESR de Bretagne, 2003), soit près de trois fois moins que ceux des bassins versants bretons. Pour l'ensemble de la Bretagne, cela équivaudrait à un flux de 3400 tonnes d'azotes par an en moyenne (Aurousseau, 2000). Des estimations font état qu'environ un million de tonnes de nitrates serait stocké dans les sols et enclin à être lessivé par les fluctuations interannuelles des nappes phréatiques (CESR de Bretagne, 2003), ne laissant pas présager d'amélioration rapide de la qualité des eaux.

Concernant les pesticides[3], les pollutions par les produits phytosanitaires touchent aussi l'ensemble des eaux superficielles bretonnes (figure 6).

[3] Un pesticide (du mot anglo-saxon *Pests*) est une préparation contenant une ou plusieurs substances chimiques destinée à protéger les végétaux ou produits végétaux contre tous les organismes nuisibles, détruire les végétaux ou des parties de végétaux indésirables, freiner ou prévenir une croissance non souhaitée des végétaux par une action sur leur processus vital, à l'exception des substances nutritives, et assurer la conservation des fruits et légumes. Ces produits se répartissent en plusieurs familles : les fongicides (agissent sur les champignons), les herbicides (détruisent les « mauvaises herbes »), les insecticides (combattent les insectes et les acariens) (d'après CESR de Bretagne, 2003).

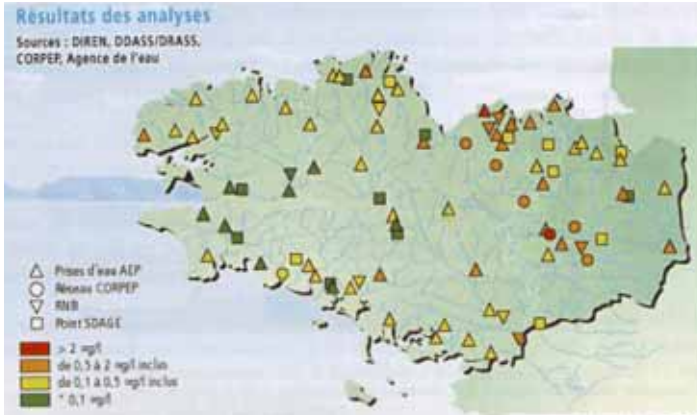


Figure 6. Carte des résidus phytosanitaires (*in* CESR de Bretagne, 2003)

C'est à partir de 1990 que les pesticides ont été recherchés de façon régulière dans les eaux de surface en Bretagne par le RNB (Réseau National de Bassin) et par le CORPEP (Cellule d'Orientation Régionale pour la Protection des Eaux contre les Pesticides). Les concentrations sont régulièrement supérieures au taux de 0,1 $\mu g.l^{-1}$ défini par la Directive sur la qualité de l'eau potable 98/83/CE du 3 novembre 1998. Le cumul des concentrations doit être inférieur à cette norme pour que l'eau soit distribuée dans le réseau d'eau potable.

En se penchant sur les substances régulièrement utilisées en agriculture, une baisse des fréquences de dépassement du seuil réglementaire s'est amorcée depuis 1997 pour l'isoproturon, substance de désherbage des céréales à paille, pour l'atrazine, désherbant du maïs, pour le diuron et le glyphosate (désherbant total) (figure 7).

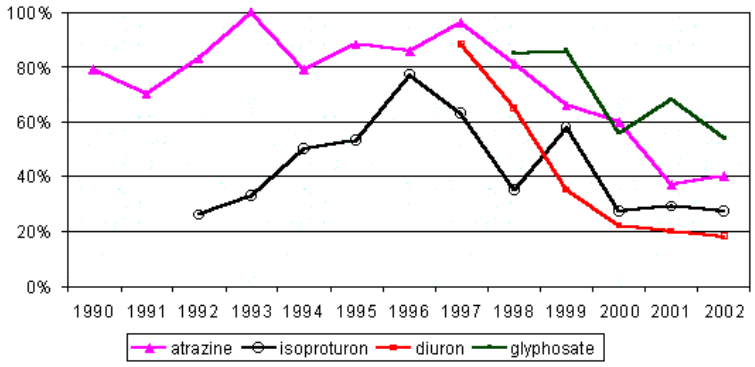


Figure 7. Fréquence de dépassement du seuil réglementaire de 0,1 µg.l-1 pour les molécules les plus fréquemment repérées dans l'eau des rivières du réseau CORPEP (*in* Hubert-Moy, 2004 ; source : Bretagne Environnement)

Enfin, pour le phosphore, il n'existe à l'heure actuelle que très peu de données actualisées. Le phosphore, apporté en agriculture sous formes d'effluents d'élevages et d'engrais minéraux (phosphates calciques ou ammoniaques), est la source d'une préoccupation majeure et encore plus complexe à appréhender que l'azote « en raison de la multiplication des formes solubles, non solubles et des délais plus ou moins longs de séjour dans les sols, les sédiments, les eaux interstitielles, les nappes et les couches géologiques profondes » (Tréhen, 2002). En Bretagne, la teneur moyenne des sols en phosphore est de près de 400 mg/Kg de terre et plus de la moitié des communes seraient en situation d'excès, soit plus de 500 mg/Kg (Aurousseau, 2001).

1.1.2.1.2. … à l'eutrophisation des eaux littorales et continentales

Une des conséquences visibles de la dégradation des cours d'eau concerne les milieux aquatiques littoraux. Ainsi, certaines baies et plages sont largement touchées par un phénomène d'eutrophisation provoquant des « marées vertes » par la prolifération des algues vertes (ulves). Cette eutrophisation dépend de la configuration du littoral, de l'intensité de l'ensoleillement et des apports en matières azotées dans les eaux littorales issus du lessivage des sols lors d'évènements pluvieux. L'apport tellurique de phosphore n'interviendrait pas sur l'amplification du phénomène, car les sédiments marins en sont naturellement bien pourvus et couvrent les minima nécessaires à l'eutrophisation (CESR de Bretagne, 2003). Il suffit, dans les sites favorables à leur prolifération[4], que la concentration en nitrates soit supérieure à 10 $mg.l^{-1}$ pour que le phénomène se déclenche.

Ce phénomène s'étend depuis les années 1970-1980 : il n'est plus seulement printanier, mais s'étale dans le temps et spatialement un peu plus chaque année. Le nombre de communes touchées est passé de moins de 50 en 1997 à plus de 70 en 2001 (figure 8). Ces marées vertes, lorsque les algues se putréfient, constituent une très forte gêne pour les riverains. Elles affectent durement l'économie locale, entraînant des coûts de ramassage importants pour les communes touchées et une forte baisse des retombées touristiques.

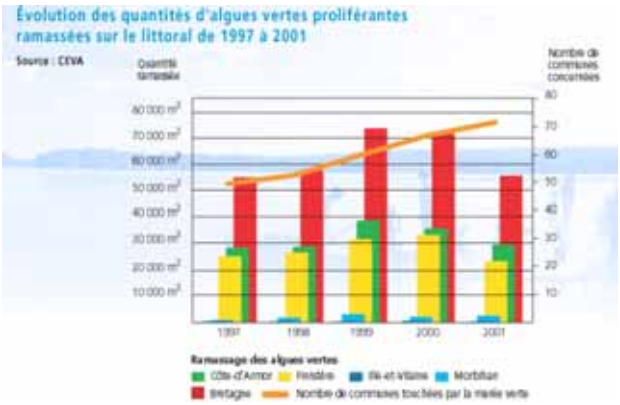


Figure 8. Evolution des quantités d'algues vertes proliférantes ramassées sur le littoral et du nombre de communes touchées entre 1997 et 2001 (*in* CESR de Bretagne, 2003, source : Centre d'Etudes et de Valorisation des Algues – CEVA)

L'eutrophisation touche aussi les eaux continentales. Ce n'est pas le nitrate qui est le facteur limitant comme dans le cas des eaux marines, mais le phosphore. L'eutrophisation provoque la prolifération d'algues et de cyanobactéries productrices de toxines (ex : algues bleues), l'accélération de la sédimentation et de l'envasement des retenues et cours d'eau, l'hypoxie[5] voire l'anoxie des milieux aquatiques (Tréhen, 2002).

L'eutrophisation peut être d'autant plus forte que la quantité de matières organiques (feuilles d'arbres, etc.) qui s'accumule et se décompose dans les cours d'eau est importante. Par conséquent, la fermeture des zones humides de fonds de vallées est favorable à la dégradation des milieux aquatiques et de la qualité de l'eau. Dans les territoires ruraux, l'essentiel des matières polluantes provient de l'agriculture.

[4] Les plages, au profil très plat, présentant une faible dynamique sédimentaire et peu sujettes à l'agitation marine, constituent des sites favorables à la prolifération des algues vertes.

[5] Diminution de la quantité d'oxygène dissous. L'anoxie est la phase ultime de l'hypoxie avec une absence totale d'oxygène dissous.

1.1.2.2. Utilisations des sols : des pratiques diverses…

Deux types de pratiques agricoles se distinguent : les pratiques qui influent sur l'utilisation des sols, en l'occurrence surtout l'occupation hivernale des sols, et les pratiques de fertilisation.

1.1.2.2.1. Des sols nus en hiver

L'absence de couverture hivernale des sols favorise l'érosion et la perte de nutriments et de matières chimiques par lessivage dans le sol ou par ruissellement de surface. L'ampleur de ces phénomènes dépend des types de sol, de leur profondeur, de la pente et des conditions pluviométriques. La problématique des sols nus hivernaux a été traitée récemment dans les travaux de Corgne (2004) et Hubert-Moy (2004). Caractérisé généralement par un climat frais et pluvieux, l'hiver breton impose une période de « repos » cultural, rendant la gestion de l'interculture durant cette période stratégique d'un point de vue agronomique et environnemental. Des sols nus à peu couverts suivent généralement les récoltes de maïs (27% de la SAU bretonne) et de céréales et constituent donc des espaces sensibles (Comifer, 2002).

L'implantation d'intercultures représente donc un enjeu environnemental : certaines intercultures, appelées CIPAN (Cultures Intermédiaires Piège A Nitrates), permettent de pomper l'azote pour leur croissance et évitent qu'il soit lessivé. De plus, leur implantation peut avoir des vertus agronomiques : lutte contre les maladies des cultures (Rothrock et Kending, 1991) et amélioration de la qualité des sols (Reeves, 1997 ; Reicosky et Forcella, 1998). La présence de sols nus en hiver dépend des choix des agriculteurs dans leur gestion de l'interculture, mais aussi des conditions climatiques. Des conditions climatiques défavorables dans le calendrier agricole (au moment des semis, durant la croissance des cultures ou encore au moment des récoltes) peut retarder, voire empêcher l'implantation d'intercultures.

1.1.2.2.2. Des pratiques de fertilisations variables

Pour qu'il y ait un risque de pollution, il faut qu'il y ait au préalable un apport de nutriments excédentaire aux besoins des plantes. Cet apport se fait lors de la fertilisation des cultures aussi bien sous forme organique (déjections animales) que minérale (engrais chimiques). Les besoins des types de cultures sont variables sur le plan quantitatif et dans le temps (apports au moment du semis, de certaines phases de croissance, …). Les quantités apportées dépendent du choix de l'exploitant agricole. Pendant longtemps, les apports en fertilisants ont été surévalués (démarche commerciale, connaissances agronomiques incomplètes, « pour assurer de bons rendements »…). Avec la dégradation de la qualité de l'eau et les contraintes réglementaires induites, les conseils se sont affinés, les formations ont été ajustées pour promouvoir des pratiques répondant aux stricts besoins des cultures.

De façon schématique, différents types de pratiques de fertilisation azotée peuvent être appliquées sur les cultures. Des pratiques peu raisonnées s'assimilent à un apport excédentaire d'azote minéral et organique, à la non prise en compte de l'apport d'azote organique issu du retournement des prairies lors de la fertilisation du maïs ou des céréales, ou encore à la non prise en compte de la présence du trèfle dans une prairie temporaire (la quantité d'azote lessivé peut être de 35 UN/ha si l'on tient compte du trèfle, contre 105 UN dans le cas contraire[6]).

[6] Les valeurs correspondent à des valeurs de reliquats moyens mesurés régulièrement dans la région de Fougères en Bretagne, pour des conditions climatiques moyennes, pour différents types d'occupation des sols. Elles tiennent compte de la place de la culture dans la succession culturale. La part d'azote nitrique du reliquat présent avant lessivage et qui est effectivement lessivée est estimée à 70% (Jean Grall, Chambre d'Agriculture Ille-et-Vilaine, communication personnelle, *in* Houet, 2000)

Le dépassement de la norme de 50mg/l de nitrates, imposée par les directives « eaux brutes » de 1975 et « eau potable » de 1980, a poussé la Commission Européenne à proposer une directive centrée sur cet enjeu. La directive 91/676/CEE, dite « directive Nitrates », concernant la protection des eaux contre la pollution par les nitrates d'origine agricole, a ainsi été adoptée le 12 décembre 1991. L'objectif de cette directive est d'instaurer des bonnes pratiques agricoles à travers des programmes d'actions successifs. Elle vise à réduire la quantité d'azote total à 210 kg/ha/an à la fin du premier programme d'action, puis à 170 kg/ha/an par la suite.

Ainsi, les pratiques de fertilisation ont pu être largement supérieures aux besoins des plantes ou encore inadaptées suivant les successions culturales. Elles constituent la source de nutriments à l'origine de la pollution agricole diffuse. Mais la situation a probablement été aggravée par l'évolution des structures paysagères et plus particulièrement par la forte régression du bocage et par la disparition et la fermeture des zones humides de fonds de vallées. L'eau acquiert ses caractéristiques physico-chimiques à l'échelle des petits bassins versants. Ces dernières dépendent donc de l'usage des terres, des pratiques agricoles mais également de la présence et de la répartition spatiale des structures paysagères au sein de ses bassins versants (Leynaud, 1992).

1.1.2.3. Le rôle du bocage sur les transferts de flux

Les structures paysagères peuvent influer sur deux types de transferts de flux : (1) les flux de surface ou ruissellement qui transportent les produits phytosanitaires, les éléments phosphorés voire des particules de sols vers les cours d'eau ; (2) les flux de sub-surface qui ont lieu dans les premiers mètres du sols, dans l'altérite, et qui entraînent les éléments dissous (nitrates, phosphore) jusqu'au cours d'eau.

1.1.2.3.1. Le rôle sur les transferts de surface

Les versants bien drainés et les zones hydromorphes de fonds de vallées sont souvent délimités par la présence de haies de ceinture situées en bas de versant et entourant les fonds de vallées (figure 9). Ces haies, souvent implantées sur talus, ainsi que les haies perpendiculaires à la direction de l'écoulement ralentissent, redirigent les flux de surface, voire provoquent leur infiltration. L'infiltration est favorisée par la forte perméabilité du sol au voisinage des haies, liée à la forte teneur en matière organique et à la porosité au niveau des anciennes racines (Viaud, 2004). Le chemin de l'eau est segmenté par la présence de « haies-puits » qui force l'eau à pénétrer dans le sol, allongeant le temps de transfert vers l'exutoire (Mérot *et al.*, 1995). Les haies non perpendiculaires aux écoulements participent également à l'allongement des distances et des temps de transfert en ralentissant et en redirigeant le ruissellement (Mérot, 1995 ; Viaud, 2004).

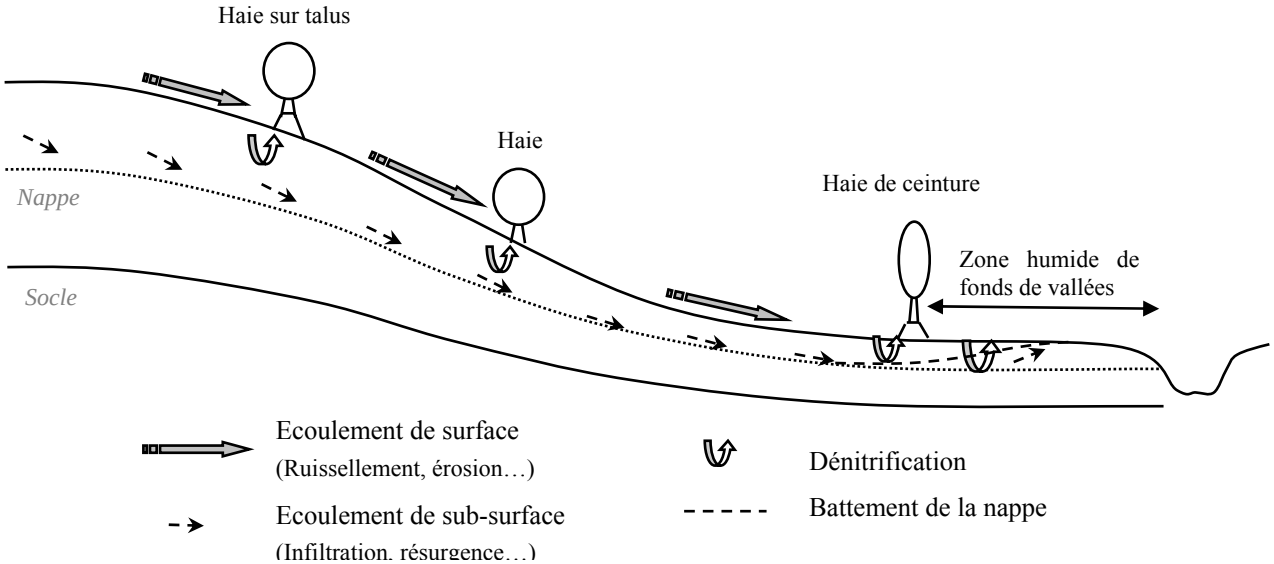


Figure 9. Transferts de flux d'eau et de nutriments le long d'un versant vers un cours d'eau

En augmentant les distances et les temps de transferts de flux d'eau, les haies favorisent, quelle que soit la période de l'année, l'infiltration, la biodégradation ou le dépôt des particules, nutriments et pesticides associés à ce type de transfert (Viaud, 2004). A l'échelle du versant, la présence de haies anti-érosives perpendiculaires à la pente conduit à une redistribution des particules érodées avec des conséquences sur la structure et l'organisation des sols (Walter *et al.*, 2003).

1.1.2.3.2. Le rôle sur les transferts de sub-surface

Le rôle majeur des haies sur les flux de sub-surface est le prélèvement d'eau et de nutriments pour la croissance de la végétation. La plante intervient directement dans le cycle de l'azote en prélevant de l'azote dans le sol : elle en restitue une partie par la litière et modifie localement les propriétés physiques et chimiques du sol et de l'activité des micro-organismes qui en découle (Viaud, 2004). Les arbres utilisent l'azote sous forme d'ammonium ou de nitrate, la préférence pour l'une ou l'autre des formes d'azote dépend de l'espèce et des caractéristiques du milieu (Van Miegroet and Johnson, 1993).

Le rôle des haies de ceinture a été mis en évidence par Caubel (2001). Les teneurs en nitrates dans la nappe de sub-surface sont plus faibles toute l'année sous la haie de ceinture qu'au niveau d'un versant où la haie de ceinture n'existe plus. Au printemps, l'abattement des concentrations entre l'amont et l'aval de la haie est de 75%. Cette réduction des concentrations est issue du prélèvement et de la dénitrification (figure 9), favorisée au voisinage de la haie par la présence de matière organique, la part relative entre les deux processus n'ayant pas été mesurée.

Ces processus sont soumis à des variations saisonnières. Ils sont liés aux fonctionnements de la végétation et aux conditions nécessaires pour les transformations biogéochimiques telles que la dénitrification. Leur rôle potentiel est maximal au printemps et en été. La haie a peu d'effet l'hiver au moment où les flux de sub-surface sont les plus importants (Viaud, 2004).

1.1.2.3.3. Le rôle tampon du réseau bocager

Bien que le rôle de la haie vis-à-vis des nitrates ait été prouvé, à l'échelle du bassin versant, la relation entre flux de nitrates et densité de haie n'est pas avérée (Pinay et Troccaz, 1999). Il faut considérer le réseau bocager dans sa diversité : nature des haies, modes de gestion, localisation dans le bassin versant et connexions avec les autres éléments bocagers (Baudry et Jouin, 2003). L'organisation spatiale du bocage conditionne de façon différenciée l'efficacité de son rôle tampon sur les flux hydrologiques et hydrochimiques de surface et de sub-surface.

En effet, les résultats présentés par Viaud (2004) montrent que, « pour les flux de surface, l'effet des haies est plus marqué les années sèches. Le rôle régulateur du bocage doit donc être observé sur le long terme. La densité de haies apparaît comme le premier facteur de contrôle du rôle des haies, leur position dans le versant intervient en second plan ». En plus de la densité, la continuité du réseau et la connexion avec le réseau de fossés ont un rôle majeur (Bocher, 2005). «Pour les flux de sub-surface, le rôle tampon est plus stable et plus résilient que le rôle tampon de surface. […] Sur le plan hydrochimique, l'efficacité est *a priori* d'autant plus forte que la densité de haie est située en bas de versant, là où la nappe est la moins profonde et la plus battante accentuant ainsi les capacités dénitrifiantes et de prélèvement des haies » (Viaud, 2004).

Si l'influence de la structure spatiale du réseau bocager sur les transferts de flux a été démontrée, celle des zones humides de fonds de vallées doit aussi être considérée.

1.1.2.4. Les fonctions des zones humides de fonds de vallées

Il existe une très grande diversité de zones humides Hubert-Moy (2004). Les zones humides de fonds de vallées constituent un espace particulier des territoires agricoles. Longtemps considérées comme insalubres pour le cheptel et comme un frein à l'intensification de la production agricole, elles ont été largement drainées. Autrefois très répandues en Bretagne, leur présence est ainsi plus réduite aujourd'hui. Nous nous focaliserons sur ce type de zones humides en raison de leur présence plus ou moins importante dans les petits bassins versants mais aussi en raison de leur influence potentielle sur la qualité des eaux.

1.1.2.4.1. De multiples fonctions

Les zones humides de fonds de vallées possèdent, dans le contexte armoricain, des fonctions agricoles, hydrologiques, biogéochimiques, biologiques et patrimoniales.

Situées à l'intérieur de territoires d'exploitations agricoles, les parcelles humides sont utilisées soit comme pâtures soit comme surfaces fourragères. Leur utilisation au sein des zones ripariennes dépend de facteurs fonciers (taille des parcelles), géographiques (distance des parcelles au siège d'exploitation) et humains (système de production, choix des exploitants) (Thenail et Baudry, 2005 ; Baudry et Thenail, 2004).

Sur le plan hydrologique, ces zones humides possèdent des fonctions de stockage (longitudinal, c'est-à-dire stockage des eaux du versant ; transversal, c'est-à-dire stockage des eaux de la rivière) et de transfert (Durand *et al.*, 2000).

Elles possèdent des fonctions biologiques non négligeables, notamment sur le plan de la biodiversité animale et végétale. Burel *et alii* (2000) ont montré que leur biodiversité est fortement reliée à l'hétérogénéité des paysages, des usages variés des terres et une grande variété de types de végétation favorisant la diversité animale le long de ces écosystèmes. La connectivité paysagère apparaît comme un des facteurs clé pour le maintien de la biodiversité

dans ces zones considérées le plus souvent comme des corridors au sein de paysages agricoles.

Enfin, elles possèdent un pouvoir épurateur vis-à-vis de certains polluants, notamment l'azote avec les processus de dénitrification et de prélèvements biologiques (Pinay *et al.*, 1993). Face à la dégradation de la qualité des eaux par la pollution diffuse d'origine agricole et aux problèmes de gestion de l'eau en milieu rural, ces zones apparaissent à l'aménageur de l'espace rural comme des éléments de régulation du fonctionnement hydrologique et géochimique des bassins versants (Durand *et al.*, 2000). Les fonctions biogéochimiques des zones humides et leurs effets sur la régulation de la pollution diffuse constituent ainsi un des arguments majeurs, en ingénierie écologique, de leur utilisation pour la gestion l'eau.

L'optimisation de certaines de ces fonctions peut se faire au détriment d'autres. Par exemple, une incompatibilité en terme d'efficacité peut se manifester entre la fonction d'exportation d'azote par voie bactérienne et la fonction réservoir de biodiversité des espèces et des habitats (Clément *et al.*, 2004). Autre exemple, les pratiques agricoles (fertilisation, intensité du pâturage) sont parfois en inadéquation avec l'optimisation des fonctions épuratrices ou de l'amélioration de la biodiversité. Ces antagonismes peuvent être d'autant plus fort que ces fonctionnalités sont difficilement localisables et peuvent partager les mêmes espaces.

1.1.2.4.2. Des zones humides potentielles, effectives et efficaces …

La délimitation des zones humides de fonds de vallées est une question relativement récente, notamment parce que les définitions pouvaient varier entre acteurs locaux, scientifiques et gestionnaires de l'eau, et que les outils n'étaient pas toujours adaptés à leur délimitation et caractérisation. Le groupe scientifique du programme TYFON (Typologie Fonctionnelle des zones humides de fonds de vallées) a proposé une typologie fonctionnelle permettant de les délimiter (Mérot *et al.*, 2000).

Cette typologie distingue trois catégories hiérarchisées de zones humides : les zones humides potentielles, les zones humides effectives et les zones humides efficaces (figure 10).

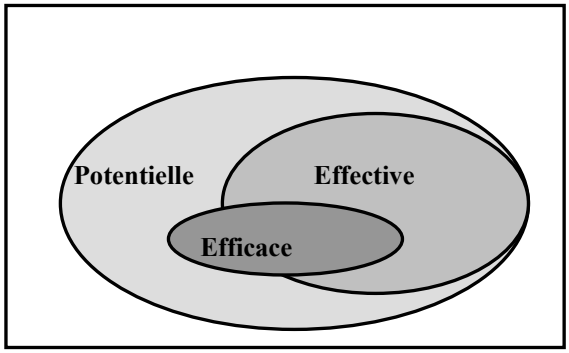


Figure 10. Hiérarchisation des zones humides : Configuration théorique (source : Mérot *et al.*, 2000)

La zone humide potentielle est une surface susceptible d'héberger une zone saturée pendant une période suffisamment longue pour lui conférer des propriétés d'hydromorphie (Mérot *et al.*, 2000). Elles incluent toujours les zones humides effectives et efficaces, mais quand elles sont déterminées à partir d'un MNE (Modèle Numérique d'Elévation) sans information sur les sols, elles excluent les secteurs de décharge de nappes localisés sur les pentes, alors qu'ils jouent un rôle important sur le processus de dénitrification. En d'autres

termes, ces zones humides potentielles peuvent être considérées comme l'enveloppe des zones humides ou comme leur limite historique d'extension maximale, avant qu'elles ne soient drainées par l'homme. En l'absence de régression, les limites des zones humides potentielles et effectives sont confondues. La zone correspondant au décalage entre les deux peut être considérée comme une zone de négociation pour des actions de restauration (Hubert-Moy, 2004).

La zone humide effective est définie comme la zone dans laquelle la saturation en eau atteint 100% en période hivernale (Mérot *et al.*, 2000). Mais cette définition peut-être affinée. Elles correspondent aux zones humides existant au moment de l'observation, et présentant les caractéristiques hydrologiques, pédologiques, botaniques qui les désignent comme telles. Quand leur extension est maximale, elles sont confondues avec les zones humides potentielles. A la différence des zones humides potentielles qui sont pérennes, les zones humides effectives sont mobiles, leurs limites évoluant sous la pression des activités humaines et des conditions climatiques (Hubert-Moy, 2004).

La zone humide efficace est une surface jouant un rôle significatif pour une fonction donnée (Mérot *et al.*, 2000). Les zones humides efficaces sont, pour la majeure partie d'entre elles, comprises dans les zones humides effectives, mais elles peuvent déborder sur les zones humides potentielles pour les fonctions hydrologiques et/ou biogéochimiques (Hubert-Moy, 2004).

1.1.2.4.3. … aux fonctionnalités épuratrices améliorables localement

La dénitrification s'effectue essentiellement dans les premiers mètres de la zone humide, à l'interface entre la zone humide et la partie non hydromorphe du versant (Clément, 2001 ; Clément *et al.*, 2002). Les fonctionnalités épuratrices sont aussi présentes au sein des zones ripariennes et dépendent alors de leur configuration spatiale, de leur composition floristique et de leurs modes d'usage.

Le potentiel dénitrifiant d'une zone humide peut être évalué à l'échelle intra-parcellaire, c'est-à-dire à l'échelle des unités hydro-géomorphologiques ou HGMU – Hydro-Geomorphic Units – (Maltby *et al.*, 1994). Il dépend du niveau d'hydromorphie des sols, du type de végétation ou de la dominante de végétation, du mode de gestion des parcelles, du type et de la longueur de contact entre la zone humide et le versant (Hubert-Moy *et al.*, 2003-a ; Hubert-Moy *et al.*, 2002). Une méthodologie multicritères permet d'évaluer qualitativement ce potentiel, mais surtout, localise précisément les zones (parcelles, sous parcelles et limite de zone humide) où des actions sont envisageables pour améliorer la dénitrification : conseils pour la modification de certains mode de gestion, défrichement/déboisement de parcelles où la dominante de végétation n'est pas très favorable à la dénitrification, implantation de haies de ceinture…

En résumé, l'utilisation des terres au sein d'un bassin versant est fonction de ses caractéristiques permanentes, mais aussi de son histoire, de son ou ses orientations agricoles. Ainsi, chaque bassin versant a possède sa propre répartition des usages des terres qui influence les risques de pollution (Hubert-Moy, 1998). Le risque de dégradation de la qualité de l'eau à l'échelle locale dépend ainsi de (1) la présence, la géométrie et l'état de ses zones humides de fonds de vallées, (2) de la densité et surtout de la position du réseau bocager sur les versants, et (3) de la présence et de la position de parcelles ou d'îlots de parcelles à risque dans le bassin versant et de leur fréquence (par exemple de sols nus en hiver). Ainsi, la prise en compte de la dimension spatio-temporelle de l'utilisation des sols et des structures

paysagères sur l'ensemble d'un bassin versant est-elle nécessaire tant pour comprendre les processus de transferts de flux au sein du bassin versant que pour entreprendre des actions en vue d'améliorer la qualité de l'eau. L'utilisation des sols et les structures paysagères doivent être ainsi considérées selon une vision fonctionnelle du bassin versant, en prenant en compte les fonctionnements hydrogéochimiques et agronomiques du bassin versant (Hubert-Moy et Gascuel-Odoux, 2001).

Pour lutter contre la dégradation de la qualité de l'eau, un certain nombre de programmes d'action et de réglementations ont été mis en place. La gestion de l'eau se réalise ainsi à différentes échelles spatiales et temporelles.

1.2. Une gestion de l'eau à différentes échelles spatio-temporelles

1.2.1. Gestionnaires de l'eau et des programmes d'actions : des niveaux de gestion emboîtés et recouvrants

La politique de l'eau en France se caractérise par la superposition de multiples textes réglementaires, de schémas, d'acteurs et de programmes. Ces chevauchements contribuent à rendre très peu lisibles les obligations et responsabilités des acteurs et limitent l'efficacité des actions entreprises. Telles sont les conclusions du rapport « Le défi de la qualité de l'eau en Bretagne » (CESR de Bretagne, 2003), dont nous reprenons ici les principales conclusions.

1.2.1.1. Une superposition de textes réglementaires

Comme le montre la figure 11, la politique de l'eau est régie par une multitude de réglementations, ce qui peut nuire à la clarté nécessaire à toute action. Des normes internationales, communautaires, nationales, locales se superposent … certaines découlant les unes des autres, d'autres ayant une finalité de transposition des règles « supérieures » dans la hiérarchie des normes, et d'autres enfin ne semblant pas être liées, voire paraissant contradictoires.

Cette superposition de textes entraîne un manque de lisibilité et des difficultés d'application. Tout d'abord, les directives communautaires doivent être transposées dans la législation nationale, or il arrive qu'elles ne le soient pas. D'autre part, le caractère très sectoriel des textes réglementaires ne facilite pas une bonne connaissance de ces textes par les acteurs. Enfin, les activités humaines ont souvent été cadrées *a posteriori* par des textes législatifs : l'adoption graduelle de mesures est peu compatible avec un nécessaire raisonnement global.

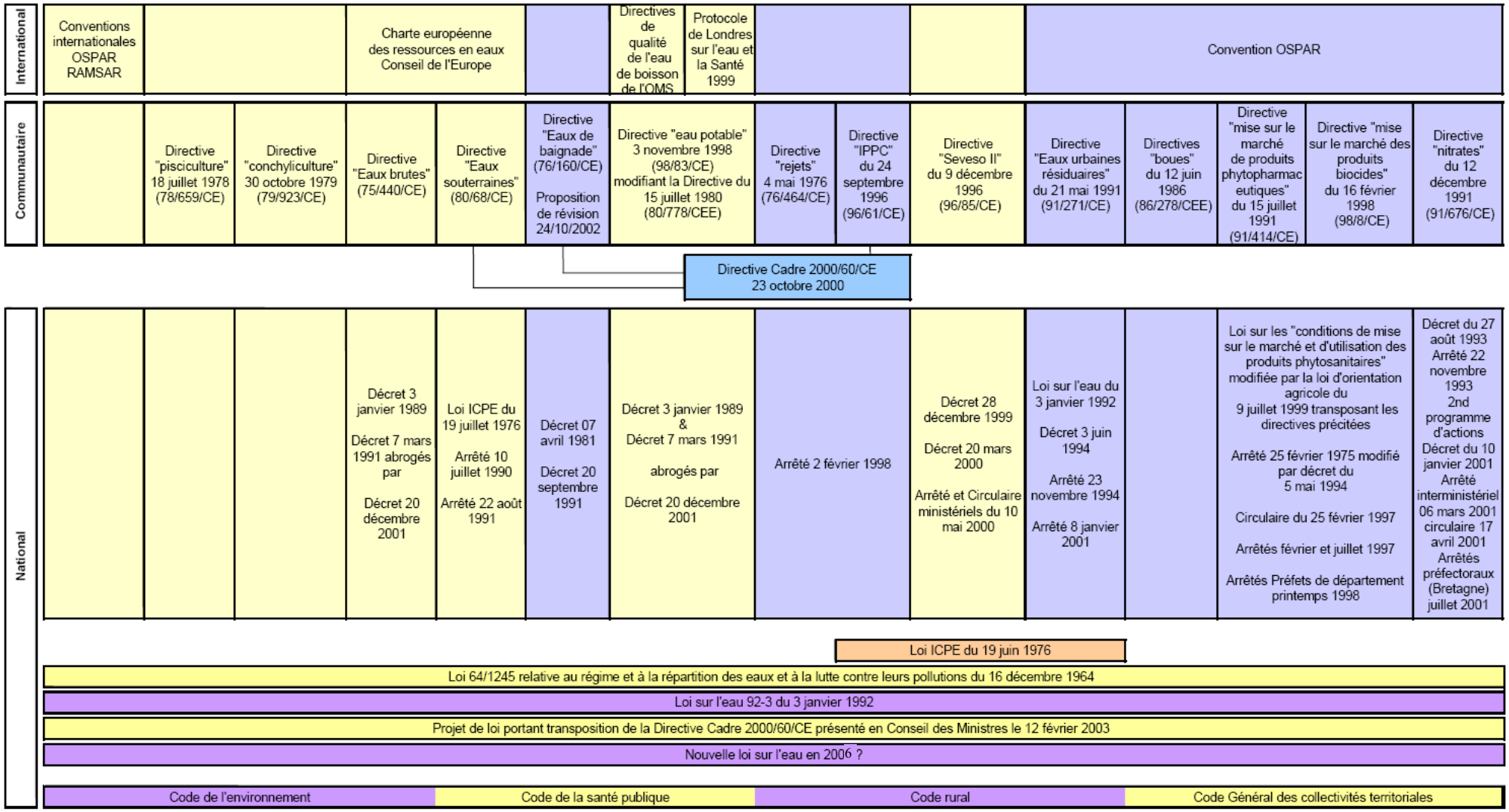


Figure 11. Une superposition de textes réglementaires sur l'eau (*in* CESR de Bretagne, 2003)

Les politiques communautaires, quant à elles, ne semblent pas non plus toujours cohérentes entre elles. Le manque d'articulation entre la politique agricole de l'Union européenne et ses politiques en matière d'environnement et de concurrence est souvent évoqué (CESR de Bretagne, 2003).

La réglementation environnementale doit également savoir réaliser le juste équilibre entre les exigences dues à l'évolution des connaissances et le temps d'adaptation nécessaire à son application.

1.2.1.2. De multiples acteurs

L'organisation des acteurs de l'eau est assez confuse et, comme la réglementation, se caractérise par un manque de lisibilité (figure 12).

La politique de l'eau est conduite et portée par une multitude d'acteurs institutionnels agissant à des niveaux différents, aux statuts et missions plus que variés, mais également par de nombreux autres acteurs (associations…). En conséquence, elle est à la fois peu compréhensible et peu lisible. La multiplicité des acteurs peut laisser craindre des chevauchements de responsabilités préjudiciables à l'efficacité des actions. Cela est d'autant plus vrai qu'il existe peu de liens hiérarchiques entre les acteurs et que l'on note un certain nombre de doublons ou alors un morcellement excessif des compétences.

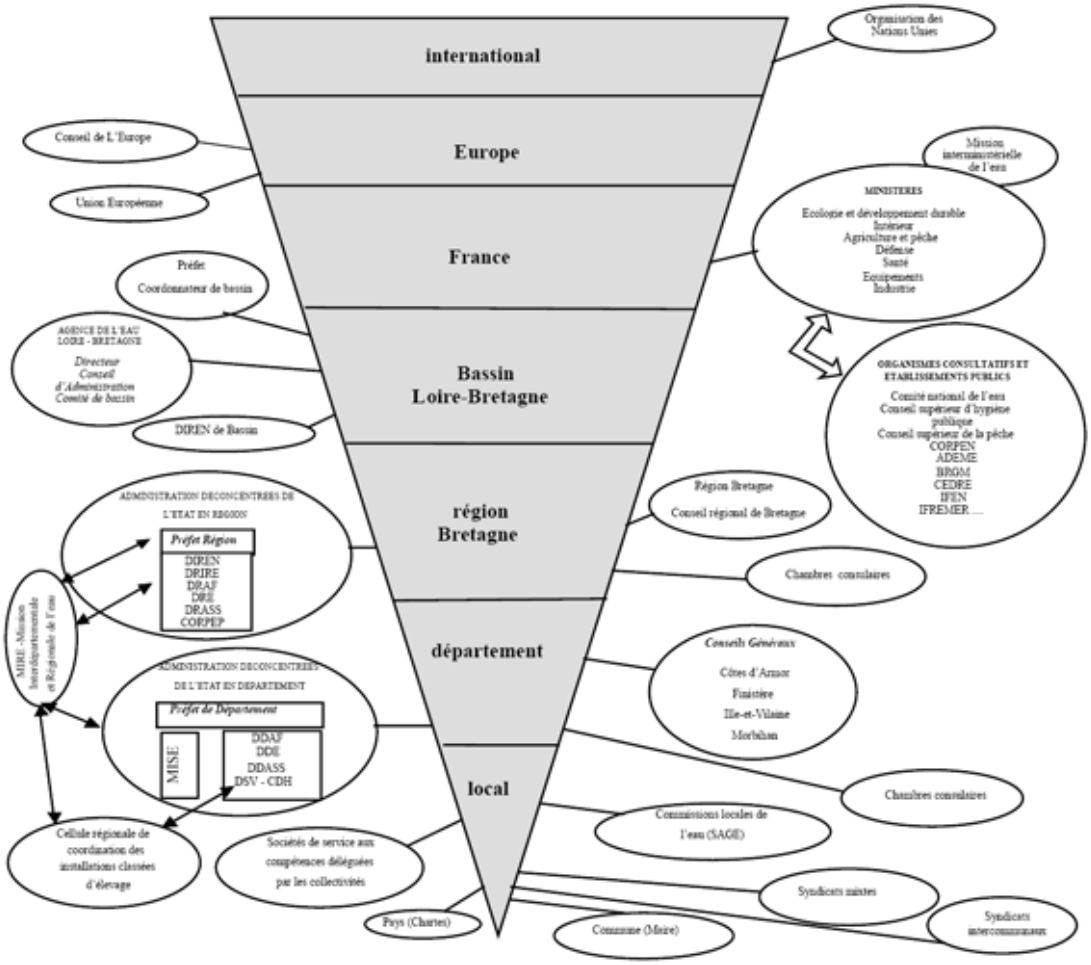


Figure 12. Un enchevêtrement d'acteurs institutionnels (*in* CESR de Bretagne, 2003)

1.2.1.3. Une pléthore de programmes aux contraintes variables

Il existe un nombre tel de programmes visant, directement ou indirectement, la qualité de l'eau, qu'il est presque impossible d'en faire un récapitulatif exhaustif. Les programmes en place actuellement peuvent présenter un caractère obligatoire ou volontaire (incitatif), et être thématiques (sectoriels) ou à vocation de coordination, par conséquent transversaux.

Les programmes thématiques (lutte contre les pollutions d'origine agricole, domestique, industrielle ou artisanale, pollutions littorales, protection des points de captage) peuvent paraître trop sectoriels. Par conséquent, ils ne tiennent pas compte du caractère intégré de la ressource en eau et de l'approche systémique que doit adopter la politique de l'eau, alors même que les programmes dont la vocation est de coordonner (Bretagne Eau Pure…) présentent des risques potentiels de dilution des responsabilités, de flottement dans les objectifs à fixer et de difficultés dans l'organisation administrative et financière, compte tenu du très grand nombre de partenaires (figure 13).

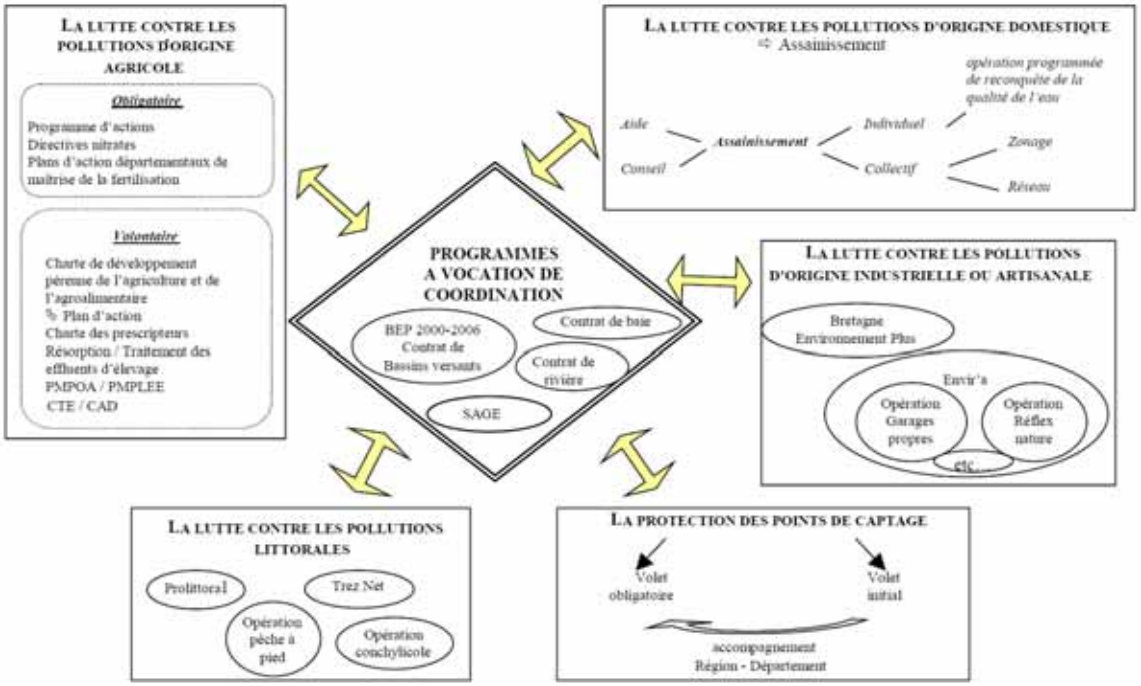


Figure 13. De nombreux programmes de reconquête de la qualité des eaux (*in* CESR de Bretagne, 2003)

Les programmes à vocation de coordination ont une vision globale de la gestion de l'eau mais suivant des portées variables.

La directive 2000/60/CE du Parlement et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau est un texte majeur. Elle reflète la volonté de coordination et de meilleure lisibilité en matière de gestion de l'eau, et affiche une obligation de résultat qu'elle impose pour l'horizon 2015[7]. Pour la première fois, fait référence à l'idée de gestion globale de la politique de l'eau en insistant sur la nécessité d'élaborer une politique communautaire intégrée dans le domaine de l'eau et de prendre en

[7] Dans le cadre des SAGE, cette date peut être repoussée par dérogations jusqu'en 2021 et 2027 si les actions engagées témoignent d'avancements réels en matière de gestion de l'eau mais qu'elles nécessitent un délai supplémentaire pour que les résultats soient visibles sur la qualité de l'eau.

compte davantage la protection et la gestion écologiquement viable des eaux dans les autres politiques communautaires. A terme, cette directive est censée devenir le document de référence pour tous les textes réglementaires attachés à l'eau.

La solution proposée par la loi sur l'eau du 3 janvier 1992 pour organiser la gestion équilibrée de l'eau et des milieux aquatiques repose sur la mise en place de Schémas Directeurs d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SDAGE) à l'échelle de grands bassins hydrographiques. Ils sont déclinés localement par les SAGE (Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux), les contrats de baies et contrats de rivières. Ils reprennent l'ensemble des obligations fixées par la loi et les directives européennes, et tiennent compte des programmes publics en cours, et établissent les priorités de la politique publique de l'eau dans le bassin pour quinze ans.

1.2.2. Les programmes de gestion durable de l'eau basés sur le volontariat

A la différence des SAGE, les contrats de baies et de rivières reposent, comme un certain nombre d'autres programmes tels que le programme Bretagne Eau Pure, sur le volontariat.

1.2.2.1. Les contrats de rivières

Les contrats de rivières ont été créés en 1981 par une circulaire du Ministère de l'environnement. Ils ont pour objectif premier de préserver, restaurer et entretenir une rivière et son écosystème. Un contrat de rivière se définit avant tout comme un protocole d'accord entre les acteurs locaux de la rivière (usagers, riverains, élus locaux) qui engage chacun de ses signataires, dans le cadre de ses responsabilités, dans la poursuite d'objectifs communs. Une circulaire du 24 octobre 1994 précise les domaines couverts par le contrat de rivière : prévention des conflits d'usages, préservation des écosystèmes aquatiques, prévention des risques d'inondation, protection et mise en valeur de la ressource en eau, dans une perspective de développement durable. La signature d'un contrat de rivière repose essentiellement sur la mobilisation des acteurs locaux. Le contrat de rivière est par la suite piloté par un Comité de rivière représentant l'ensemble des acteurs de l'eau, qui établit les programmes d'actions et contrôle leurs exécutions. Les financements sont assurés par les Agences de l'eau, l'Etat et les collectivités locales (Régions et Départements).

1.2.2.2. Les contrats de baies

Le principe du contrat de rivière a été étendu aux baies par une circulaire du 13 mai 1991. Les contrats de baies ont ainsi pour objectif d'associer tous les acteurs ayant une responsabilité sur l'état du milieu, ainsi que les riverains. Le champ de mise en oeuvre est donc très large, puisque la démarche des contrats de baie englobe l'impact des pollutions d'origine terrestres dans le milieu marin. L'élaboration du contrat est précédée d'un état des lieux, à partir duquel est déterminé un programme pluriannuel de restauration et de sauvegarde de la qualité des eaux littorales. Un Comité de baie réunit l'ensemble des partenaires intéressés à la gestion de la baie et suit le déroulement du contrat.

1.2.2.3. Le programme Bretagne eau Pure

Le programme *Bretagne Eau Pure* (BEP) a été lancé en 1990 par les acteurs publics de la lutte contre les pollutions aquatiques : Etat, Région, Départements, Agence de l'eau, sous la forme d'un programme pluriannuel intégré au Contrat de Plan Etat-Région.

Le programme BEP a pour objectif de favoriser la cohérence des programmes et des financements sur les bassins versants éligibles. Il coordonne ainsi des actions spécifiques et des programmes déjà existants, dont les Programmes de Maîtrise des Pollutions d'Origine Agricole (PMPOA 1 et 2) et les programmes de résorption des Zones d'Excédent Structurel (ZES). Les actions sont basées sur le volontariat et l'incitation. Alors que la première phase du programme (1990-1994) concernait essentiellement l'assainissement dans les communes littorales, BEP II (1995-1999) avait l'ambition de mobiliser l'ensemble des acteurs d'un bassin versant afin de restaurer la qualité de la ressource en eau et de réduire la pollution par les nitrates et les produits phytosanitaires. Ces actions ont été prolongées et étendues dans le cadre de BEP 2000-2006 (*in* Bretagne Eau Pure). Ce dernier concerne 45 bassins versants représentant sur l'ensemble de la région (figure 14) : 36% de la surface agricole utile, 24% de la population, 58% de la production d'eau potable, 28% des exploitations agricoles, 38% du territoire breton et 39% des communes (Agence de l'eau Loire Bretagne, 2000).

Les actions portent sur trois domaines : la restauration de la qualité de l'eau, les expérimentations et les recherches appliquées et des actions de sensibilisation et d'animation. Elles concernent bien évidemment le domaine agricole, mais pas seulement. Les collectivités locales, directions départementales ou encore les entreprises et particuliers ont été sensibilisés à des pratiques non polluantes. Les actions agricoles concernent les nitrates et les produits phytosanitaires, soit par le biais de conseils individuels, soit à travers des animations collectives.

Ces actions sont particulièrement bien adaptées aux conditions locales. Des outils tels que les diagnostics phytosanitaires à l'échelle parcellaire sont particulièrement bien adaptés à la gestion des pratiques agricoles car ils tiennent compte des types d'occupation des sols et des structures paysagères (Houet *et al.*, 2004-a). Certains bassins versants ont par ailleurs réalisé des états des lieux sur les structures paysagères (bocage et zones humides de fonds de vallées) dans le but d'envisager la reconquête de la qualité de l'eau à travers des opérations d'aménagement des territoires agricoles (restauration des haies de ceinture, implantation de haies sur talus perpendiculaires à la pente, …).

Sur le plan de la qualité de l'eau, les résultats sont convaincants en ce qui concerne les phytosanitaires. Pour les nitrates, bien que les résultats soient plus mitigés, l'évolution de la qualité s'est stabilisée. La tendance semble même s'être inversée depuis la fin des années 1990, témoignant de l'évolution des pratiques agricoles (figure 15).

Figure 14. Les bassins versants du programme Bretagne Eau Pure 2000-2006 (*in* Agence de l'eau Loire Bretagne, 2000)

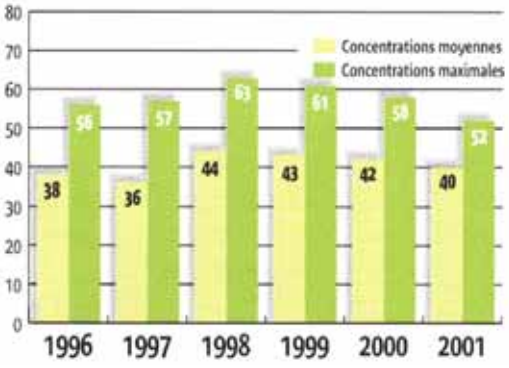


Figure 15. Evolution des concentrations moyennes et maximales en nitrates entre 1996 et 2001 dans les bassins versants Bretagne Eau Pure (*in* CESR de Bretagne, 2003)

En dépit de leur intérêt, la portée de ces trois types de programmes est limitée : d'une part, elle concerne des territoires très localisés ; d'autre part, car elle repose essentiellement sur le volontariat et n'ont pas leur portée réglementaire, contrairement aux SAGE. Ce type de programmes a toutefois le mérite de montrer explicitement la nécessité d'un suivi à l'échelle locale pour une gestion intégrée de l'eau et des territoires agricoles.

1.2.3. Les SAGE : la prise en compte du long terme et le volet prospectif

Les SAGE s'articulent autour d'un territoire hydrologique cohérent et d'une initiative locale qui s'institutionnalise par la création d'une Commission Locale de l'Eau, présidée par un élu, et qui regroupe des représentants des collectivités locales, des représentants des usagers, des organisations professionnelles et des associations et enfin des représentants de l'Etat. A l'issu de sa préparation, ce schéma d'aménagement initie une démarche planificatrice ayant une force réglementaire, constituant un guide pour tous les acteurs de l'eau.

La figure 16 présente les douze SAGE existant en Bretagne à la fin de l'année 2002 : l'Aulne, le Blavet, le Couesnon, l'Elorn, Estuaire Loire, l'Isole, l'Ellé et la Laïta, l'Odet, l'Oudon, Rance-Frémur, la Sélune et la Vilaine.

Figure 16. Les SAGE en Bretagne en décembre 2002 (source : Agence de l'eau Loire-Bretagne)

L'article 212-3 du Code de l'Environnement précise qu'un « SAGE fixe les objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur et de protection quantitative et qualitative des ressources en eau superficielle et souterraine et des écosystèmes aquatiques ainsi que de préservation des zones humides ». Ainsi, le SAGE fixe les objectifs de qualité à atteindre dans un délai donné, répartit l'eau entre les différentes catégories d'usagers, identifie et protège les milieux aquatiques sensibles et définit les actions de développement et de protection des ressources en eau et de lutte contre les inondations (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 1996).

Elaboré en concertation avec les acteurs locaux et dans une vision à long terme, ce document intègre l'ensemble des contraintes réglementaires, tient compte des spécificités locales à l'aide d'un inventaire précis des milieux sous forme cartographique et intègre les besoins et contraintes liées à la ressource en eau des acteurs présents sur son territoire. Il élabore, à l'aide d'un volet prospectif, une stratégie pour atteindre des objectifs de gestion quantitative et qualitative de l'eau, identifie les maîtres d'ouvrages possibles et évalue les moyens économiques et financiers nécessaires.

1.3. Conclusion partielle

Les mutations paysagères qui ont touché la Bretagne ont été particulièrement importantes durant les cinquante dernières années, suivant des rythmes et des intensités variables localement. Elles ont participé à la dégradation de l'environnement illustrée notamment par l'altération de la qualité de l'eau. L'agriculture, grande utilisatrice des terres, est largement responsable de ces évolutions. Ainsi, les mutations paysagères ont accompagné les mutations socio-économiques et techniques de ce secteur. Ces mutations ont touché différents compartiments du paysage : l'occupation des sols à l'échelle parcellaire, la trame bocagère et les zones humides de fonds de vallées.

Il existe de multiples programmes d'action de restauration et de protection de la qualité de l'eau. Seuls les SAGE sont dotés d'une vision intégrée à moyen et long terme, des outils réglementaires et/ou des moyens nécessaires pour une gestion de l'eau efficace et durable. Ils incluent un volet prospectif et une volonté de gestion spatialisée de la ressource hydrique. Selon l'expression de Narcy (2004), les SAGE sont les outils de gestion les plus adaptés pour « sortir du tuyau », c'est-à-dire pour sortir d'une vision sectorielle de l'eau qui se limite à l'alimentation en quantité d'eau potable de qualité, rendue possible par les interconnexions de plusieurs réseaux d'adductions.

Dans un contexte où la ressource en eau est déjà fortement dégradée, la question de l'évolution future des modes d'utilisation des terres et des structures paysagères se pose avec acuité: la nouvelle réforme de la PAC effective en 2006 nous interroge sur l'évolution des modes d'occupation des sols ; la forte régression du nombre d'exploitants agricoles sur le maintien et l'entretien du bocage. Ces interrogations surviennent alors même que la perception par les sociétés du bocage et des zones humides de fonds de vallées ont changé. Le bocage et les zones humides jouissent de fortes connotations positives en raison des multiples fonctions qu'il remplissent (écologiques, paysagères, hydrologiques, épuratrices, énergétiques, anti-érosives, brise-vent, etc.). Des témoignages relatés dans un quotidien national (Le monde, 9 avril 2005) sont explicites quant à l'évolution passée des paysages mais aussi quant à la problématique de leur évolution future en lien avec l'amplification des contraintes environnementales et sociales : « *La campagne a beaucoup souffert du productivisme effréné. La biodiversité s'est appauvrie, le « capital nature » s'est épuisé. Le mouvement est en marche : à côté de leur fonction nourricière, les agriculteurs ont, désormais, une mission paysagère à assurer. Un vrai bouleversement culturel, pour certains « une nouvelle révolution agricole »… C'est dans la bataille du paysage que se situe, aujourd'hui, la plus grande divergence d'appréciation entre les gens de la ville et ceux des campagnes. La société bourdonne d'attentes à l'égard de son agriculture. Mais celle-ci peine à assumer autant d'enjeux ».*

L'utilisation de la prospective semble le moyen le plus adapté pour aider les ruraux - agriculteurs ou pas- et les citadins à considérer la problématique de la gestion de l'eau comme une problématique d'aménagement du territoire. En éclairant les futurs possibles d'un territoire, il devient possible d'anticiper des situations, souhaitables ou non, et de mettre en place des solutions intégrées et concertées tenant compte des contraintes et obligations de chacun.

La construction de scénarios prospectifs des modes d'occupation des sols et des structures paysagères à une échelle fine constitue donc un enjeu très fort afin d'éclairer les acteurs locaux et les gestionnaires de l'eau dans leurs décisions et leurs actions.

CHAPITRE 2 - Prospective de l'occupation et de l'utilisation des sols : approches méthodologiques de construction de scénarios

La prospective est une discipline à laquelle on a recours afin d'avoir « un regard sur l'avenir destiné à éclairer l'action présente » (Hatem, 1993). Elle repose sur des bases conceptuelles et méthodologiques rigoureuses qui la différencient d'une simple projection dans le futur. Elle n'est pas destinée à prédire l'avenir mais bien à donner, sous certaines hypothèses, un panel de représentations futures plausibles et cohérentes.

Les travaux prospectifs portant sur les types d'occupation et d'utilisation des sols sont relativement récents. Leur nombre est en large augmentation depuis quelques années, grâce au regain d'intérêt du concept de développement durable dans le cadre de politiques environnementales ou d'aménagement du territoire, ainsi qu'à l'essor des recherches scientifiques ayant trait au changement global.

Ce chapitre, dans un premier temps, relate succinctement l'évolution de la prospective qui est une discipline récente, puis dans un second temps fait un état des études et recherches prospectives portant directement ou indirectement sur les modes d'occupation et d'utilisation des terres. Dans un deuxième temps, il pose les bases conceptuelles et méthodologiques d'une démarche de prospective.

2.1. Prospectives pour l'environnement : des prémices à la pratique

2.1.1. De l'émergence d'une discipline…

2.1.1.1. La pensée anticipatrice, prélude de la prospective

Pour reprendre les propos de Cazes (1986), la prospective prend ses racines dans la pensée anticipatrice qui apparaît dès le premier siècle avant notre ère, dans le *De Divinatione* de Cicéron[8]. La pensée anticipatrice regroupe différents types de littératures : les textes divinatoires, prophétiques, conjoncturels (utopiques ou catastrophiques) et la science-fiction. Des concepts visionnaires, nés au 19ème siècle, fruits de l'imagination de différents auteurs, ont pu devenir réels par la suite : métro, sous-marin, pollution urbaine (Robida, 1892), réchauffement climatique (Mouton, 1872) ou parcs nationaux (Souvestre, 1846) en sont des exemples. *Le meilleur des mondes* d'Huxley[9] est un autre exemple très connu de la pensée d'anticipation. Ces œuvres littéraires sont le fruit d'imaginations, parfois fondées sur des logiques rigoureuses, mais exemptes de fondements méthodologiques.

2.1.1.2. La naissance de la prospective

Même si des méthodes de représentation de l'avenir utilisées dans la littérature d'anticipation recoupent quelques aspects de méthodes prospectives, la pensée anticipatrice a

[8] Cicéron, 1992, *De Divinatione*, trad. fr., Les belles lettres.

[9] Huxley A., 1932, *Le meilleur des mondes*, Presses-Pocket

connu des changements après la seconde Guerre mondiale (en particulier son utilisation pour l'action collective) qui l'ont fait évoluer jusqu'à constituer la prospective, discipline de laquelle elle se différencie nettement aujourd'hui : les conjectures anticipatrices visent à la distraction ou l'étonnement du public tandis que les conjectures prospectives qui aident à prendre de meilleures décisions pour induire un avenir davantage conforme à nos préférences.

La démarche prospective contemporaine, destinée à l'analyse stratégique, a véritablement émergé aux Etats-Unis, qui ont joué un rôle précurseur et décisif pour l'essor de cette discipline. Le premier exercice prospectif a été commandé par le président Hoover en 1929 et restitué en 1933. « Au début des années 1930, le président américain Hoover souhaite mettre en œuvre un programme de réformes sociales appuyé sur une connaissance scientifique de la société. […] L'idée fondamentale est que l'action de planification doit pouvoir s'appuyer sur un savoir adéquat en matière de faits sociaux. Il est donc nécessaire d'essayer pour cela de prévoir les grandes tendances à venir : connaître ce qui risque d'arriver permet en effet d'agir pour modifier ou infléchir ces évènements probables. […] C'est la première fois qu'un travail sur l'avenir aura été commandé par le pouvoir politique, financé par des institutions officielles, et conçu par un groupe d'experts selon des règles de nature scientifique » (Cazes, 1986 *in* Hatem, 1993).

C'est surtout à la fin de la Seconde Guerre Mondiale que les études prospectives se sont développées à des fins de stratégies militaires. Au sortir de la guerre, le projet *Research et Development* (Rand) destiné à orienter les choix en matière de défense et de technologies militaires, a donné naissance à un organisme autonome (la *Rand Corporation*) a joué un rôle essentiel dans l'essor de la discipline. Il est rapidement devenu un laboratoire de méthodes de prospective : c'est là que sont conçues la méthode Delphi, les méthodes coûts/avantages et l'analyse systémique (Hatem, 1993).

Mais c'est en 1970 que la prospective est sortie de son état embryonnaire avec le Club de Rome, regroupant des responsables et intellectuels internationaux, et à l'origine des retentissements engendrés par la publication du rapport *Halte à la croissance* (Meadows *et al.*, 1972).

2.1.1.3. L'émergence de la prospective en France

La prospective a véritablement émergé en France à partir des années 1950 grâce à G. Berger et B. de Jouvenel. Le terme même de « prospective » est créé par G. Berger en 1957 (Berger, 1957), néologisme exprimant que le regard porte vers l'avenir, par opposition au terme « rétrospective » qui regarde vers le passé. C'est lui qui a posé les premiers concepts de la discipline (Berger, 1958) :

- La prospective n'est pas un système théorique, mais un engagement dans l'action. Le futur est le résultat de nos actions présentes ;
- La prospective est nécessairement une discipline de long terme, car « l'avenir se regarde au loin ».

Il a aussi établi quelques règles méthodologiques propres à la prospective (*in* Hatem, 1993) :

- le refus d'appliquer à l'étude du futur les méthodes et les tournures d'esprit extrapolatives, le précédent, l'analogie et le passé ;
- la nécessité d'analyser, dans un monde en perpétuel changement, les « faits porteurs d'avenir » : Il s'agit d'ausculter le présent afin d'y déceler les présages de discontinuité, menaces ou promesses ;

- la globalité de l'attitude prospective : il faut saisir tous les aspects d'une réalité donnée, et comprendre la fonction que remplit chacun de ses composants dans l'ensemble du système ;
- la nécessité d'accorder une importance particulière aux faits humains ;
- l'importance du contenu éthique de la prospective, de la question des finalités humaines.

B. de Jouvenel (1964) a, lui aussi, fortement contribué à la discipline en émettant des idées forces telles que :

- l'absence de symétrie entre passé et futur : alors que le passé ne peut être modifié, il existe une pluralité de futurs possibles ou « futuribles »[10] ;
- l'importance du contenu éthique de la prospective, de la question des finalités humaines.

Ces deux pionniers de la prospective en France ont eu de nombreux disciples, qui ont contribué à une définition (encadré 1) donnant à la prospective un cadre conceptuel bien défini (Julien *et al.*, 1975).

Définition de la prospective

« La prospective est une manière originale « de regarder au loin et de loin » une situation déterminée (Decouflé, 1972). C'est avant tout une attitude de l'esprit qui inverse le changement traditionnel, en partant de futurs possibles ou souhaitables pour revenir au présent. Les tendances passées et présentes sont utilisées « comme support à la réflexion » et non comme une cage qui emprisonne le futur dans les limites du présent (Massé, 1965). La prospective constitue un va-et-vient entre le présent et le futur, non pas pour prédire celui-ci mais plutôt pour aider une société à se construire un avenir désiré. »

Encadré 1. Une définition de la prospective donné par Julien *et al.* (1975)

2.1.2. … à la généralisation de l'utilisation de la prospective

2.1.2.1. Le rôle catalyseur des administrations et des organismes scientifiques à vocation internationale

Les Etats-Unis ont fortement contribué à la fois à l'émergence de la discipline mais aussi à sa généralisation. Les études commandées par des présidents américains en témoignent : Hoover en 1929 pour mettre en place des réformes sociales, Eisenhower en 1950 pour repousser des craintes de pénurie de matières premières, Nixon en 1969 pour définir des objectifs nationaux de développement ou encore Carter en 1979 pour planifier l'action internationale du gouvernement dans le domaine de l'environnement.

Les travaux du Club de Rome (Meadows *et al.*, 1972 ; Mesarovic et Pestel, 1974) ont accéléré la prise de conscience des enjeux sur le long terme et joué ainsi un rôle décisif au niveau du développement des travaux et des organismes de prospective au niveau national.

Dans le cas de la France, c'est le Commissariat Général au Plan (CGP) qui joua le rôle de précurseur avec la publication du rapport *Réflexions pour 1985* (CGP, 1965). Par la suite, des besoins spécifiques en matière de prospective ont émergé : travaux synthétiques (fournir une image « globale » de la France), travaux portant sur des thèmes transversaux (urbanisme),

[10] Ce néologisme inventé par B. de Jouvenel signifie « les états futurs possibles descendant du présent ».

travaux sur certains secteurs d'activité (agriculture, etc.). Ces besoins vont favoriser la généralisation de l'utilisation de la prospective par des organismes spécifiques ou institutionnels. Autre exemple, la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (DATAR) créée en 1963 s'est dotée de moyens prospectifs pour « approfondir la réflexion en matière d'aménagement du territoire, de façon à donner à la DATAR une légitimité intellectuelle équivalente à celle du CGP et pour propager ses propres thèses de manière plus efficace auprès des autres administrations et du public » (Hatem, 1993). Sans évoquer la sphère privée où les travaux prospectifs constituent un point essentiel au niveau des politiques de gestion et de développement d'une entreprise, la décentralisation de 1982-83 a elle aussi largement contribué à l'essor des travaux prospectifs au niveau régional et local dans le cadre de l'élaboration de contrats de plan Etat-Régions.

Durant les années 1970 et 1980, un grand nombre d'organismes scientifiques à vocation internationale (instituts, associations…) ont vu le jour. Le rapport *Bruntland* (ONU, 1987) a joué un rôle comparable au rapport *Meadows* (Meadows *et al.*, 1972). Une floraison d'équipes de prospectivistes ont alors promu une vision alternative de l'économie et de la société, en s'orientent pour une partie d'entre eux, vers le conseil en stratégie.

2.1.2.2. L'utilisation des modèles

La place des modèles dans les études prospectives s'est peu à peu transformée en fonction des objectifs poursuivis : les prédictions d'évolutions à long terme se sont transformées, après les années 1970, en simulations visant à fournir des visions contrastées du futur. L'intérêt des modèles tient dans la production de données quantifiées mises à disposition des prospectivistes. Les modèles ont ainsi contribué à la généralisation de la prospective. A titre d'exemple, le modèle World 3, qui a abouti à la publication du rapport *Meadows* (Meadows, 1972), est certainement un des plus connu en prospective, non seulement pour les résultats du modèle, mais aussi pour les débats prospectifs qu'il a suscité (Kieken, 2003).

La convergence entre modèles et prospective a été rendue possible grâce à l'amélioration des modèles et à leur spécialisation dans des domaines spécifiques (économie, environnement…), mais également à la formation d'un nombre croissant d'équipes pluridisciplinaires de modélisation appliquée aux études prospectives.

2.1.2.3. L'explosion des problématiques environnementales

Si le rapport *Meadows* a participé à la diffusion des inquiétudes sur la capacité future des milieux à supporter la pression croissante liées aux activités humaines, le rapport *Bruntland* illustre clairement l'explosion future des problématiques environnementales et les enjeux liés au développement durable. Ces problématiques ont largement contribué au recours à des démarches prospectives.

Les premières prospectives relatives à l'environnement avaient simplement pour but de comprendre quels étaient les futurs possibles de l'espace de vie des êtres humains. La convergence de l'ensemble des résultats vers une situation pessimiste voire dramatique a largement contribué à promouvoir la nécessité de préserver et protéger l'environnement aussi bien aux échelles internationales qu'aux échelles locales (Ward et Dubos, 1964 ; Meadows *et al.*, 1972 ; US *Department of State*, 1980 ; Clark et Munn, 1986 ; ONU, 1987 ; Alcamo *et al.*, 1998).

Non seulement la prise de conscience s'est généralisée, mais la dégradation effective de l'environnement et les catastrophes écologiques des dernières décennies ont contribué au

développement de l'utilisation de la prospective. Aujourd'hui, les études prospectives qui ont pour objectif de trouver une solution souhaitable à un problème environnemental sont nombreuses (Futuribles, 1986).

2.2. Les prospectives de l'occupation et de l'utilisation des sols

Les études prospectives portant sur les évolutions possibles des modes d'occupation et d'utilisation des sols servent généralement à éclairer, quelle que soit l'échelle, leurs impacts possibles sur le plan socio-économique, environnemental ou encore climatique… Les études destinées à influer sur l'évolution des modes d'usages des terres elle-même sont plus rares, exception faite des études ayant pour vocation d'aider à la planification territoriale. Ainsi, par exemple, si des études cherchent à connaître les conséquences des changements d'utilisation des terres sur l'émission des gaz à effet de serre, peu d'entre elles apportent des préconisations de modification des modes d'usages des terres dans le but de réduire ces émissions. Elles sont confrontées à des problèmes d'échelles et des contraintes liées à une multitude d'activités et de disciplines.

Ainsi, il convient tout d'abord de présenter le panel des domaines d'application où les prospectives portant sur l'occupation et de l'utilisation des sols sont utilisées, avant de déterminer quelle est ou pourrait être la place de la prospective dans des études portant principalement sur l'occupation et l'utilisation des sols, en particulier quand la gestion de l'eau est en question.

2.2.1. Des domaines d'application variés

L'objectif ici n'est pas de présenter une liste exhaustive des études existantes, mais un panel d'exemples de prospectives des modes d'occupation et d'utilisation des sols réalisées dans différents domaines. Ces exemples sont classés par domaine d'application, l'analyse portant essentiellement sur l'échelle d'approche et le type de rendu (statistique, cartographique, etc.).

Dans le champ du changement global, Liu *et al.* (2000, 1999) et Kerr *et al.* (2003) ont utilisé des projections de changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols afin de simuler des émissions en gaz à effet de serre (N_2O, NO) et les dynamiques du carbone (séquestration dans les sols, émission de CO_2). Ces projections sont faites à l'échelle des régions du monde dans ces exemples (zone Atlantique Costa Ricaine) en liaison avec les dynamiques de déforestation, mais aussi à des échelles plus vastes (Liu *et al.*, 2003).

Les travaux portant sur la planification territoriale sont relativement nombreux :

Indirectement liés à une démarche de planification urbaine, les travaux de Wang et Zhang, 2001 et de Goetz *et al.*, 1998 proposent des simulations de l'expansion urbaine respectivement de la ville de Chicago et de l'aire métropolitaine de Baltimore-Washington. Les productions cartographiques permettent d'évaluer les conversions en zones urbanisées et ainsi de localiser les zones riches sur le plan environnemental qui risquent de disparaître. L'objectif poursuivi est d'orienter les décideurs dans la mise en place de politiques de développement urbain et de préservation de l'environnement, de la baie de Chesapeake par exemple dans le second cas (Mid-Atlantic Regional Earth Science Applications Center, 2003). Jantz *et al.* (2003) proposent ainsi une image de la tâche urbaine de l'aire métropolitaine de Baltimore-Washington en 2030, selon l'hypothèse que les tendances de

développement observées se poursuivent. Les travaux de Torrens, (2002) et Torrens et Sullivan (2001) montrent ainsi que les modèles d'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols utilisés, contribuent « *to explore spatial complexity, to test theories et ideas about cities in an abstract manner* » et constituent « *an operational urban planning support systems* ».

Si, à l'origine, les travaux de Veldkamp et Fresco (1996-a) et de Verburgh *et al.*, (2002, 1999) sont destinés à étudier l'impact des changements d'usages des terres sur le changement global du climat et la pollution de l'air, certains d'entre eux (Veldkamp et Fresco, 1996-b) sont utilisés pour la planification territoriale. Ils présentent des images de la répartition spatiale de certains types d'occupation du sol au Costa Rica (évolution des productions agricoles de maïs, riz et haricots) suivant des scénarios où sont introduits des évènements tels qu'une éruption volcanique, l'implantation de parcs nationaux ou encore d'une dégradation de la qualité des sol. Les résultats sont présentés sous forme cartographique à différentes échelles (nationale, régionale) pour différents pays : Costa Rica (Veldkamp et Fresco, 1996-b) ; Amérique Centrale (Kok et Winograd, 2002) ; l'île de Sibuyan dans les Philippines (Verburgh et Veldkamp, 2004)… Ils permettent aux aménageurs d'organiser le développement de leur région/pays tout en préservant les écosystèmes menacés.

De même, les travaux de de Nijs *et al.* (2004) et de Engelen *et al.* (1999) qui intègrent des aspects de développement de l'espace résidentiel rural, du transport, de l'agriculture et de leurs conséquences sur l'environnement, dépassent le cadre de la planification urbaine et peuvent être rattachés à une démarche de planification territoriale à l'échelle nationale (de Nijs *et al.*, 2004) ou sub-régionale (Engelen *et al.*, 1999). Les premiers prennent en compte, dans les scénarios, les hypothèses formulées par l'IPCC (IPCC, 2000) et les traduisent sous forme cartographique à l'horizon 2030. Les seconds présentent des résultats sur la zone de Ijmon/Zuid-Kennemerland (12 x 14 km aux Pays-Bas) pour montrer les effets d'une planification spatialisée à l'horizon 2010.

Il existe une assez grande variété d'études prospectives des modes d'occupation et d'utilisation des sols menées dans le domaine de l'agriculture. Elles se différencient selon l'étendue de la zone d'étude sur laquelle elles portent.

A l'échelle de plusieurs pays ou d'états « continents », les recherches de Verburgh *et al.* (2000) s'intéressent à l'évolution future de la production céréalière en Chine, et plus particulièrement à sa distribution spatiale. Dans le même esprit, Ewert *et al.* (2005) et Rounsevell *et al.* (2005) ont cherché à évaluer l'impact des scénarios de développement réalisés sur des pays européens par le IPCC (IPCC, 2000) sur les changements de productivité céréalière et de la proportion des terres arables destinées à la production alimentaire à l'horizon 2080. Les rendus statistiques et cartographiques sont présentés pour l'ensemble de l'Europe.

A l'échelle nationale, l'étude de Moore *et al.* (1992) a été réalisée au début des années 1990 pour développer les capacités de productions agricoles sous pluies au Sénégal, suivant différentes hypothèses d'évolution spatiale de terres converties en zones cultivées. Les résultats des scénarios réalisés sont présentés de façon très fine sous formes statistiques et cartographiques pour l'ensemble du pays, l'unité cartographique élémentaire étant l'association végétale.

A l'échelle régionale et/ou locale, d'autres se sont intéressés à l'impact du changement climatique sur l'évolution future des productions agricoles. Par exemple, dans le bassin versant de la Seine (Ducos, 2003 ; Olive, 2002), les résultats tiennent compte à la fois du contexte international et local. Ils sont présentés sous forme de récits, de statistiques et de

cartes où l'unité de restitution est la petite région agricole. Nassauer et Corry (2004) ont, quant à eux, visé à représenter des futuribles paysagers de la *Corn Belt* (Iowa, USA), suivant des priorités différentes de politiques agri-environnementales (priorité à la production, à la qualité de l'eau, à la biodiversité) au sein de bassins versants de second ordre (env. 5000 ha). Les récits s'accompagnent de cartographies mais aussi de montages photographiques réalistes des modes d'occupation des sols à l'échelle parcellaire. Enfin, Münier *et al.*, 2004 ont cherché à évaluer l'impact économique (statistiques) et écologique (cartes) d'un changement de système de production d'exploitations agricoles dans deux communes danoises.

La lutte contre la dévitalisation du tissu rural[11] et son corollaire, la fermeture des paysages, interrogent les aménageurs sur les politiques à mener dans ces espaces fragiles. Dans le cas de la Chaise-Dieu en Haute-Loire (Piveteau, 1995), la prospective de l'utilisation du sol a constitué une méthode permettant de réunir les acteurs concernés et de soulever les enjeux futurs de la gestion territoriale liée à cette problématique.

Dans le cas de Viscomtat (Massif-Central) et d'Eymoutiers (Limousin) (Joliveau et Michelin, 2001 ; Michelin, 2000), la démarche est quelque peu différente. C'est autour de représentations paysagères des futurs modes d'occupation et d'utilisation du sol suivant différents scénarios que l'on cherche à regrouper et à bâtir l'action participative. Les échelles concernées sont la commune et le canton. Les représentations paysagères sont faites à l'aide de vues numériques et de blocs paysagers (schémas).

De par ses relations avec l'occupation et l'utilisation des sols, la gestion de l'eau fait l'objet de plus en plus d'études prospectives. Les SAGE comprennent désormais un volet prospectif pour aider à définir leur stratégie de gestion de l'eau à long terme. La prise en compte des dynamiques spatio-temporelles de l'agriculture et des zones urbaines est essentielle à la gestion qualitative et quantitative des eaux. L'exemple du Blavet est, à ce titre, explicite (Narcy *et al.*, 2006). La prospective de l'utilisation des sols est représentée sous forme cartographique, de façon à témoigner, spatialement, d'enjeux différenciés selon les caractéristiques et les dynamiques socio-économiques, démographiques, paysagères et environnementales des territoires du Blavet.

A une échelle comparable, les travaux de Baker *et alii* (2004) présentent des scénarios alternatifs sur le bassin versant de la *Willamette river* (West Oregon, USA). L'impact des trois scénarios (« développement de l'habitat urbain et rurbain », « conservation de la nature », « poursuite des tendances actuelles ») est évalué sur la disponibilité en eau, l'état de la rivière Willamette et ses conditions d'écoulement et enfin sur la faune sauvage et les habitats terrestres, et restitué sous la forme de récits.

A la limite avec le domaine de la gestion agricole, Kersebaum *et alii* (2003) ont réalisé une évaluation de la pression polluante azotée (tonnes/an) à l'échelle des sous-bassins versants du bassin de l'Elbe (Allemagne) en prenant en compte l'évolution des pratiques culturales et les conditions pédologiques locales suivant différents scénarios.

Finalement, à l'échelle micro-régionale, un exercice de prospective a été réalisé sur l'évolution de l'occupation et de l'utilisation des sols du bassin versant du Yar en Bretagne pour mettre en évidence le rôle de la gestion des zones humides de fonds de vallées sur la qualité de l'eau (Poux *et al.*, 2001). Ce travail réalisé à l'échelle locale se présente sous la forme de récits.

[11] On sous-entend ici des zones rurales où la démographie est vieillissante, les activités économiques, l'agriculture notamment, en crise. L'enclavement socio-économique se traduit sur le plan paysager.

Enfin, certains auteurs s'intéressent aux dynamiques spatiales des modes d'occupation et d'utilisation des sols pour elles-mêmes. A titre d'exemple, le travail de de Barros Ferraz *et alii* (2005) concerne le suivi et la gestion de la forêt tropicale. Bien que la plupart des études portant sur la déforestation s'insèrent dans des thématiques plus larges de changement climatique, celle-ci s'intéresse plus particulièrement aux dynamiques spatiales de la déforestation. Les projections sont faites à l'échelle sub-régionale (900 km²) et sont restituées sous forme statistique et cartographique.

2.2.2. La place de l'occupation et de l'utilisation du sols dans les recherches prospectives

2.2.2.1. D'une simple variable contextuelle à une composante stratégique

L'étude des modes d'occupation et d'utilisation des sols vise tout d'abord à décrire une situation à une date donnée, un territoire avec ses potentialités et ses déséquilibres.

Elle peut intervenir dans l'exercice prospectif comme une simple variable de l'équation prospective. L'objectif est alors de produire des données essentielles (par exemple sous forme statistique ou cartographique) afin d'obtenir des descripteurs d'une situation future possible. Ces données peuvent alors être utilisées dans des modèles climatiques ou économiques.

Elle peut aussi constituer une composante plus stratégique de l'étude prospective: En illustrant un résultat, elle permet de mettre des acteurs en situation afin de les faire réagir et interagir au sein même de l'exercice prospectif. Les rendus statistiques, cartographiques ou encore les jeux de rôle et le photo-réalisme, sont communément utilisés dans ce but. Ils permettent de révéler des pratiques individuelles ou collectives, de soulever des enjeux de gestion et d'utilisation de l'espace (Bousquet, 2001 ; Piveteau, 1995), et d'identifier des leviers de gestion, des espaces stratégiques ou des sources de conflits potentielles. La prise en compte des modes d'usages des terres devient alors une composante stratégique qui apporte plus de pertinence et d'efficience à l'exercice prospectif, et plus particulièrement lorsque les résultats issus de plusieurs scénarios sont comparés (Veldkamp et Fresco, 1997).

2.2.2.2. Quelles échelles pour quelles prospectives ?

La diversité des échelles sur lesquelles portent les études prospectives précédemment citées est très grande. Néanmoins, une tendance se dégage :

- les prospectives faites à l'échelle globale sont davantage destinées à révéler des problèmes à venir et les enjeux généraux pour les éviter. Par exemple, les rapports *Meadows* (Meadows *et al.*, 1972) et *Bruntland* (ONU, 1987) ont largement contribué à l'émergence et à l'application du concept de développement durable.
- Les prospectives faites à l'échelle « locale » (nationale, régionale, micro-régionale) se tournent davantage vers l'action et le conseil en stratégies.

Un des problèmes majeur dans les études prospectives provient, pour reprendre l'expression de Peguy (2001), de la prise en compte de dynamiques verticales et horizontales et de leurs interactions. En effet, comme le souligne Lacour (1986), « ce qui est essentiel, c'est que les espaces sont emboîtés et que l'on doit, en même temps, étudier une unité et l'ensemble, sans méconnaître les conflits inévitables et les harmonies nécessaires entre ces niveaux ». Ainsi, les dynamiques verticales sont assimilables aux interactions entre des changements qui se produisent à des échelles globales (ex : changements climatiques),

internationales (ex : Politique Agricole Commune de la CE), nationales (ex : politique de l'eau), régionales (ex : développement des infrastructures routières) ou locales (développement des Pays[12], canton et communes, pratiques individuelles). Les dynamiques horizontales correspondent à des effets de voisinage, qui se produisent aussi bien entre des entités situées au sein de la zone d'étude qu'avec des entités situées en dehors.

L'intégration de cette complexité est le préalable et l'objectif de toute recherche prospective. Plus le degré de précision recherché est élevé (coûts économiques, localisation d'espaces stratégiques et d'aménagements à réaliser), plus sa mise en œuvre sera délicate et coûteuse en temps et en moyens humains. Il apparaît donc primordial de bien définir, au début de l'exercice prospectif, les échelles sur lesquelles travailler (quelles variables étudier ? pour quelle utilisation ultérieure ?) et de faire le lien avec les échelles de restitution destinées à la planification stratégique.

2.2.2.3. Dans le cas de la gestion de l'eau : la nécessaire prise en compte de l'échelle locale

De nombreux programmes de reconquête de la qualité de l'eau adoptent aujourd'hui une démarche de gestion spatiale de l'eau, agissant sur l'aménagement d'un bassin versant à l'échelle de la haie, de la parcelle et du versant, à l'échelle où l'eau acquiert ses caractéristiques physico-chimiques.

Il n'existe à l'heure actuelle et à notre connaissance aucune étude prospective qui intègre l'évolution à moyen et long terme des composantes d'un paysage agricole fragmenté à l'échelle locale de façon spatialisée. Pourtant, le chapitre 1 a clairement montré que la localisation des types d'occupation des sols et des structures paysagères au sein d'un bassin versant a une forte importance sur la gestion qualitative voire quantitative de l'eau.

La détermination, à une échelle fine, des évolutions possibles de territoires agricoles ayant un rôle important vis-à-vis de la gestion qualitative de l'eau peut aider à mettre en évidence des zones stratégiques, des sources de conflits et voire des leviers d'actions. Une telle démarche prospective permet également d'inscrire la gestion de l'eau dans la durée et la durabilité à l'aide de cette vision à moyen ou long terme. Ceci corrobore les conclusions émises par Sebillotte *et alii* (2003) qui soulignent un fort besoin en matière de production de futuribles de territoires à l'échelle locale pour mieux appréhender les impacts sur les ressources en eau et les milieux aquatiques. Dès lors, il est nécessaire pour cela d'engager une démarche méthodologique de prospective, comme celle des scénarios.

2.3. La démarche méthodologique des scénarios en prospective

Les scénarios sont une des méthodes les plus anciennes et les plus employées en prospective. Formellement, ils consistent en des récits cohérents qui décrivent une ou plusieurs anticipation(s) plausible(s) du futur, relativement à un sujet donné (l'environnement, l'économie, les représentations sociales,…) (Poux, 2003).

Bien qu'il existe différentes méthodes de construction de scénarios, toutes s'appuient sur une base méthodologique commune qui est présentée dans un premier temps. Ensuite nous présentons les différents types de scénarios existants. Enfin, nous abordons la question de la validation des scénarios prospectifs.

[12] On se réfère ici à la notion de « Pays » telle qu'elle est définie dans la loi n° 95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire, dite Loi Pasqua-Hoeffel

2.3.1. « La méthode des scénarios » : de la « base » aux futuribles

Depuis les travaux de la *Rand Corporation* aux travaux de la DATAR (DATAR, 1971 ; Julien *et al.*, 1975), en passant par les ouvrages des années 1960 de Kahn (1984, réédition) dans lesquels apparaissent le terme de « scénario », les méthodes d'élaboration de scénarios prospectifs se sont multipliées. Toutes ces méthodes ont été analysées et synthétisées sous l'impulsion de Godet (1992), afin de formaliser une « méta-méthode » qu'il a appelé « la méthode des scénarios »[13] . Elle se décompose en deux phases : la construction de la « base » et l'élaboration des scénarios.

2.3.1.1. L'élaboration de « la base »

La base peut se définir comme « l'image actuelle du système, aussi complète, globale et explicative que possible, à partir de laquelle l'étude prospective proprement dite (c'est-à-dire la construction des scénarios) pourra être mise en œuvre » (Hatem, 1993). La description du système doit à la fois prendre en compte la situation à un instant *t* et sa dynamique temporelle passée.

2.3.1.1.1. La définition du système

Le système est défini à travers l'identification des variables principales qui le composent, qui peuvent être à la fois des variables externes au système (caractérisant l'environnement du système) et des variables internes à celui-ci (caractérisant le système *stricto sensu*).

L'analyse du système doit permettre d'identifier les relations de causalités entre les variables, les variables motrices qui influencent fortement l'évolution du système et les variables « sensibles » pour lesquelles l'évolution future est la plus incertaine.

2.3.1.1.2. La dynamique du système

La dynamique du système est déterminée à l'aide d'une analyse rétrospective qui permet de comprendre l'évolution passée, et d'identifier les acteurs et les variables qui ont joué un rôle, ceux qui jouent encore un rôle et ceux qui sont susceptibles de jouer un rôle à l'avenir.

Enfin, une analyse du « jeu des acteurs » peut compléter la définition de la dynamique du système. Elle doit permettre de comprendre leurs intérêts respectifs, les objectifs qu'ils cherchent à atteindre ainsi que leurs interrelations, afin d'envisager de possibles alliances ou conflits.

2.3.1.2. La construction des scénarios

Selon Godet (1992), un scénario s'inscrit de façon formelle dans une démarche prospective si et seulement si il répond à quatre critères : la pertinence, la cohérence, la vraisemblance et la transparence. Ces principes fondamentaux sont complétés par celui issu des définitions de Kahn et Wiener (1967) et de Van Asselt *et al.* (1998) mettant l'accent sur « l'enchaînement logique à portée décisionnelle et sur les alternatives ou bifurcations résultantes de l'indétermination sur le futur » Poux (2003). Les premiers auteurs décrivent les scénarios comme étant des « séquences d'évènements hypothétiques construites pour mettre

[13] Nous reprenons ici l'expression de Godet (1992) dont certains éléments fondamentaux apparaissent dès 1977 (GODET, 1977, *Crise de la prévision, essor de la prospective*).

en évidence des processus causaux et les enjeux de décision ». Les seconds les définissent comme des « descriptions archétypales d'images alternatives du futur, issues de représentations mentales ou de modèles qui reflètent des appréhensions différentes du passé, du présent et du futur ».

2.3.1.2.1. Des hypothèses variées

A l'issue de la phase de construction de la base, il doit être possible de définir un certain nombre de « dimensions d'incertitude ». Hatem (1993) définit une dimension d'incertitude comme « une incertitude considérée comme décisive pour l'avenir du système (ex : l'évolution démographique, un enjeu environnemental ou encore un aléa climatique), et dont les réalisations possibles seront utilisées comme hypothèses de base pour la construction de scénarios ». Ainsi, un scénario peut se fonder sur une ou plusieurs tendances lourdes et/ou sur une ou plusieurs hypothèses alternatives qui devront être cohérentes entre elles.

La construction d'un scénario est effectuée en fonction de l'intérêt qu'il peut présenter pour les acteurs concernés et l'apport qu'il peut produire par rapport à d'autres scénarios. Un scénario ne prend sa réelle dimension que lorsqu'il est comparé à d'autres images du futur.

2.3.1.2.2. *Images* et *cheminements*

Les scénarios décrivent une évolution possible d'un système entre un état initial et un état daté dans le futur. Cette date à atteindre, constitue *l'horizon temporel* de l'étude prospective. Plus celui-ci est lointain, plus l'espace des futurs possibles est important. Selon Julien *et alii* (1975), un horizon temporel de moins de dix ans ne constitue pas à proprement parler « un futur » mais plus simplement une sorte de « présent à long terme » issu d'une extrapolation des tendances actuelles.

La construction des scénarios est fondée sur deux règles :

- la description synchronique du système à différents moments de son évolution, appelé aussi *images* ;

- la description diachronique d'une succession d'évènements hypothétiques et des relations de causalité qu'ils entretiennent avec le reste du système, qui constitue *le cheminement* entre deux images.

2.3.1.2.3. Des hypothèses aux projections

Un certain nombre de méthodes peuvent être mobilisées pour générer des hypothèses à tester (analyse systémique, analyse structurelle). La construction d'images et de cheminements à partir des hypothèses déterminées au préalable peut être faite à partir de récits et/ou de modèles.

Le récit est une manière « intellectuelle » et souple d'établir de façon dynamique les relations causales entre variables du système. La construction même du récit contribue à identifier des relations de causalité qui donnent leur cohérence aux scénarios (Poux, 2003).

L'utilisation de modèles informatiques, à travers la réalisation de simulations, constitue une autre source de création de projections. Plus rigides que les récits, les modèles informatiques offrent l'avantage de fournir des données quantifiées et/ou spatialisées, souvent plus explicites que la description qualitative fournie par les récits.

Le couplage entre les récits et modèles est de plus en plus courant, les seconds permettant de quantifier les tendances de certaines variables (climatiques, économiques, démographiques,…).

La figure 17 présente la démarche prospective dans son ensemble.

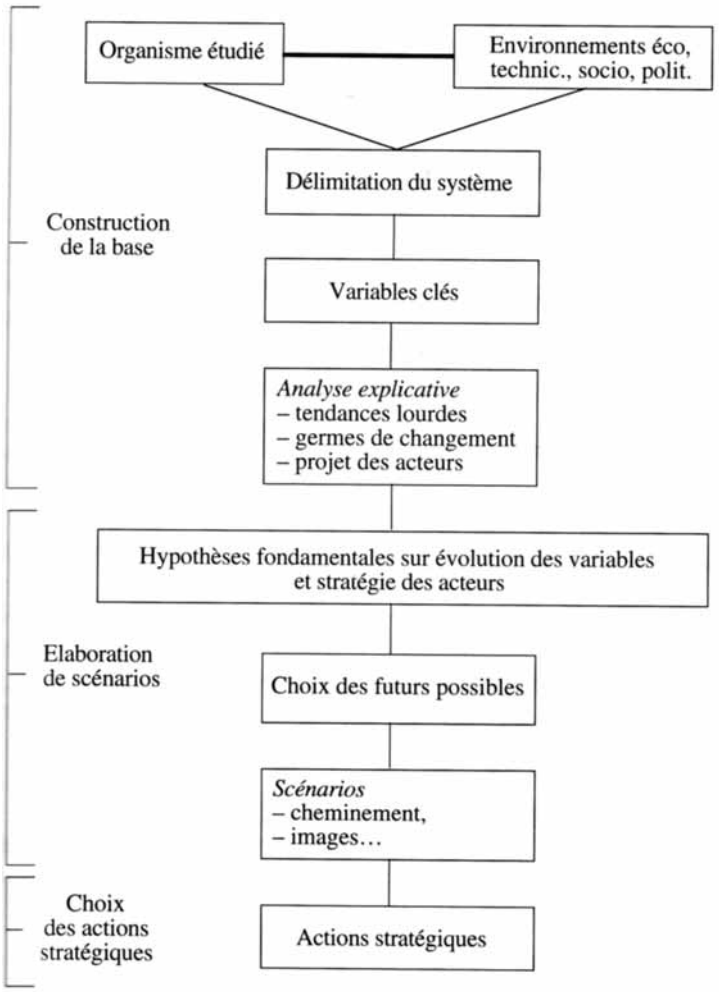


Figure 17. La « démarche prospective » selon M. Godet (source : Godet, 1977 *in* Hatem, 1993)

2.3.2. Typologie des scénarios

Deux grandes familles de scénarios peuvent être distinguées suivant l'approche adoptée lors de la construction du scénario, et le degré d'ouverture des dimensions d'incertitudes.

2.3.2.1. Scénarios « exploratoires » versus scénarios « normatifs »

Souvent appelés scénarios *forecasting* et *backcasting*, les scénarios exploratoires et normatifs correspondent à des approches de construction de scénarios prospectifs opposées.

Les premiers partent d'une situation connue, initiale, pour explorer progressivement le futur (figure 18-a). Ils permettent de mettre en lumière, de manière méthodique, les tendances les plus vraisemblables.

Les seconds partent d'une norme de désirabilité (image souhaitable ou non) et remontent le futur jusqu'au présent. La construction d'un cheminement plausible est faite de façon rétrospective (figure 18-b). Ils éclairent davantage les risques de ruptures (probabilité d'occurrence des images normatives) et les moyens à mettre en œuvre pour parvenir à des objectifs prédéfinis (éviter telle situation ou atteindre telle autre).

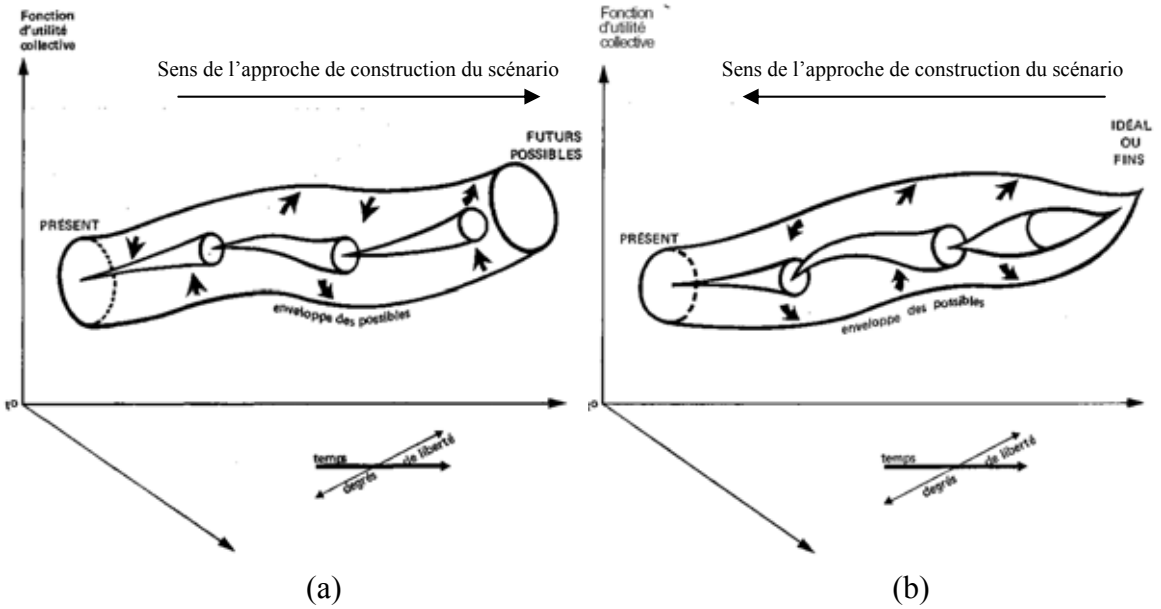


Figure 18. Représentations tridimensionnelles (a) d'un scénario exploratoire et (b) d'un scénario normatif (Julien *et al.*, 1975)

Ces deux approches font appel à deux types de « fonctions cognitives » (Jungermann, 1985): exploration des implications potentielles d'hypothèses ou d'options données, d'une part ; exploration des conditions préalables nécessaires à la réalisation d'un objectif ou d'un développement donné, d'autre part. Le raisonnement en *forescasting* serait, de ce fait, plus enclin à privilégier les hypothèses les plus plausibles, à extrapoler les hypothèses passées, avec une approche plus réaliste ou conservatrice, tandis que le *backcasting*, privilégierait davantage la surprise ou la rupture possible, serait plus tourné vers l'action et l'innovation, avec une approche révolutionnaire, voire utopiste.

2.3.2.2. Scénarios « tendanciels » versus scénarios « contrastés »

Les scénarios dits « tendanciels », appelés aussi scénarios « sans surprise » (Hatem, 1993) ou « au fil de l'eau » (Poux, 2003) correspondent à une poursuite des tendances actuelles. Ils ne supposent pas de rupture majeure, et intègrent des facteurs de changements déjà connus dont la probabilité est certaine. A l'inverse, les scénarios contrastés sont destinés à explorer des hypothèses de rupture, ayant ou non un degré de probabilité faible, mais dont l'impact est potentiellement important. A titre d'exemple, les scénarios présentés par Gallopín *et al.* (1997) sont explicites : Ils présentent une classe de scénarios tendanciels, appelée « Mondes conventionnels », et deux autres classes de scénarios contrastés[14], « la Barbarisation » et « les Grandes Transitions ».

[14] Exemple des multiples scénarios réalisables en prospective, les travaux de Radskin *et al.* (1998) intitulés *Bending the curve : Toward global sustainability* correspondent à des scénarios de type *backcasting* réalisés à partir des scénarios tendanciels « Mondes conventionnels » du rapport *Branch Points* (Gallopín *et al.* (1997). Les scénarios de Radskin *et alii* mettent en valeur les actions qui sont réalisables pour modifier la trajectoire d'évolution d'une façon plus « durable » que dans le cas des scénarios « mondes conventionnels ».

2.3.2.3. Scénario de référence et variantes

Un scénario est dit de référence quand il tient une place privilégiée. Il est généralement construit autour des hypothèses les plus probables (poursuite des tendances passées, absence de bouleversement, …). D'autres scénarios sont ensuite élaborés à partir de celui-ci, en « variantes », en modifiant une seule de ces hypothèses (Hatem, 1993). La distinction entre un scénario de référence et ces variantes peut être illustré à l'aide de l'exemple cité dans le paragraphe précédent (Gallopín *et al.*, 1997). La classe de scénarios « Mondes conventionnels » est constituée d'un scénario de référence qui envisage la primauté du marché dans la régulation du monde, et d'une variante qui envisage une organisation et une action politique plus prégnante, en rapport avec le rapport *Bruntland* (Poux, 2003).

2.3.3. La question de l'évaluation des scénarios prospectifs

2.3.3.1. Comment évaluer un exercice prospectif ?

Il est impossible de savoir si ce qui est décrit dans les scénarios prospectifs va se réaliser ou non. La prévision n'est d'ailleurs pas l'objectif de la prospective comme le rappelle le titre éloquent de l'ouvrage de Godet (1977) « *Crise de la prévision, essor de la prospective* ». Toutefois, la prospective peut être évaluée par l'apport qu'elle produit pour des acteurs et décideurs. C'est notamment fréquemment le cas dans les études fondées sur le jeu d'acteurs (Piveteau, 1995).

2.3.3.2. L'apport de la rétroprospective

Il existe des évaluations d'études prospectives effectuées *a posteriori*. La situation actuelle est alors comparée avec la ou les situation(s) envisagées par les scénarios. Cette démarche est appelée rétroprospective.

La rétroprospective est intéressante, car elle permet d'une part de répondre à la question « Pourquoi avons-nous eu tort ? », et d'autre part de voir en quoi les erreurs de la prospective influencent les résultats de mise en œuvre. Puisque les préjugés et la normativité jouent un rôle primordial, les résultats concentrent souvent les « penchants humains » (le conservatisme, l'optimisme). Les rétroprospectives ont le mérite d'éviter de faire les mêmes erreurs et aident ainsi à développer notre connaissance du contenu et de la mise en œuvre des méthodes » (Van Der Helm, 2002).

2.3.3.3. L'évaluation des scénarios : valider la démarche de construction et non les résultats des scénarios prospectifs

L'évaluation peut aussi porter sur les méthodes utilisées dans les constructions de scénarios (modèles, probabilités…). Cela permet de répondre à la question « le modèle fait-il bien ce qu'on lui demande ? », donnant ainsi un caractère plus plausible au scénario. Enfin, puisqu'il ne s'agit pas de savoir si le résultat du scénario est correct ou pas, l'évaluation des scénarios prospectifs s'effectue en vérifiant le respect des quatre fondamentaux de construction des scénarios : la pertinence, la cohérence, la vraisemblance et la transparence.

Selon Piveteau (1995), toute démarche prospective, pour répondre à ces principes fondamentaux, doit s'assurer de respecter trois autres principes : la vérité et la rigueur, la démocratie, l'aventure.

- Le premier principe de « vérité et de rigueur » consiste à rendre compte de l'ensemble des protocoles méthodologiques employés et de l'ensemble des connaissances scientifiques utilisées et de leurs sources.

- Le second principe de « démocratie » vise à faire en sorte que l'avenir choisi soit le fait d'une décision démocratique ou de « souveraineté collective ». Il faut pour cela à la fois une participation collective de l'ensemble des acteurs (les préjugés et réticences de certains ne rendent pas leur participation évidente) et aussi éviter la « prise de pouvoir » de certains acteurs (scientifiques, politiciens, …) dans le débat démocratique.

- Le troisième principe « d'aventure » décrit à la fois la démarche collective ou individuelle des acteurs de l'exercice prospectif mais aussi les actes qu'elle suggère. Il incite à choisir des solutions originales ou innovantes, à retenir des alternatives douloureuses à court terme ou à « abandonner les schémas anciens » (Le Maignan, 1992 *in* Piveteau, 1995).

S'assurer du respect des principes de « vérité, de démocratie et d'aventure » de la démarche prospective, mais également des fondamentaux de «pertinence, cohérence, vraisemblance et de transparence » lors de la construction des scénarios prospectifs, permet de d'évaluer leur plausibilité et leur validité, aussi aventureux soient-ils. Veiller au respect des règles d'or du prospectiviste permet d'y parvenir (encadré 2).

Les règles d'or du bon prospectiviste

1. Se méfier des idées reçues ; faire preuve en permanence d'esprit critique et de vigilance.
2. Lire, s'informer, voyager, afin de connaître des situations de « challenge ».
3. S'entraîner à détecter les « signaux faibles » porteurs de changements ; faire régulièrement le point des changements scientifiques en cours ou potentiels à travers des lectures appropriées ; réfléchir sur des idées nouvelles, non orthodoxes ; prêter attention aux évènements susceptibles de modifier les perceptions, en révélant un problème préexistant mais non encore identifié.
4. Dépasser ces centres d'intérêts et de spécialisation habituels. S'intéresser aussi bien aux évolutions techniques qu'aux changements de valeurs ou aux perspectives économiques et financières ; ne pas s'enfermer dans une spécialisation étroite.
5. Chercher à rentrer en contact avec les personnalités remarquables ; participer à des colloques, des séminaires, des groupes de réflexion ; écrire aux auteurs de talents ; entretenir avec eux un échange permanent.
6 Rester à l'écoute de milieux marginaux : groupes scientifiques situés hors de l'*establishment*, art alternatif, nouvelles formes d'expression musicale populaire… Ecouter les femmes, les vieux, les jeunes, les personnes de couleurs, les chômeurs, les non-diplômés, bref tous ceux qui peuvent exprimer une vision du monde différente de celle de l'homme blanc adulte dominant.
7. Chercher par la réflexion prospective à éclairer l'action locale concrète, tout en replaçant celle-ci dans le contexte global.

Encadré 2. Les règles d'or du bon prospectiviste (d'après Godet, 1992 et Schwartz, 1991 *in* Hatem, 1993)

2.4. Conclusion partielle

L'émergence de la prospective en tant que discipline est le fait de quelques hommes, relayée par les questionnements des instances dirigeantes sur les politiques à mettre en œuvre dans différents domaines (militaire, social, environnemental…). Le développement des principes et des méthodes de la prospective s'est effectué au travers des groupements d'intellectuels et de scientifiques (*Rand Corporation*, Club de Rome…). Mais ce sont

véritablement les projections faites à l'échelle de la planète (rapport *Meadows* (Meadows, 1972) ; rapport *Bruntland* (ONU, 1987)) qui ont, par leurs conclusions, suscité auprès des institutions nationales un intérêt plus fort pour cette discipline. L'utilisation de la prospective s'est alors généralisée à travers la réalisation d'études globales, sectorielles ou transversales à des échelles nationale ou régionale.

Dans de nombreux domaines d'application, les modes d'occupation et d'utilisation du sol forment un élément central des études prospectives. La connaissance de leurs évolutions possibles à moyen et long terme constitue un enjeu fort en matière d'aménagement de l'espace, de gestion des ressources et de développement durable. Toutefois, il apparaît que, dans le domaine de la gestion de l'eau, ces évolutions ne sont que très rarement représentées finement à l'échelle locale.

La construction de projections s'appuie sur une méthode générique (Godet, 1992) s'articulant autour de deux phases : la construction de la « base » (définition du système et de sa dynamique) et la construction de scénarios. Il existe des méthodes différenciées de construction de scénarios d'où découlent des types de scénarios variés. Quels qu'ils soient, ils décrivent tous, le plus souvent sous la forme de récits, une évolution (ou *cheminement*) et une situation (ou *image*) futures.

La prospective explore des horizons temporels très éloignés mais présente des lacunes évidentes dans la restitution spatialisée des images des territoires qu'elle étudie. A l'inverse, la géographie excelle dans la représentation synthétique ou réaliste de l'espace mais pêche dans l'intégration du temps, et plus encore lorsqu'il s'agit d'horizons temporels éloignés. La complémentarité de la géographie et de la prospective ne se limite pas aux dimensions spatiales et temporelles car, comme le souligne, Piveteau (1995), la « complexité » est le paradigme commun à l'étude du territoire et à la prospective.

Ainsi, dans une démarche prospective fondée sur la méthode des scénarios, l'objectif est d'évaluer ce que les avancées en géographie, dans le domaine de la représentation et de la modélisation de la complexité, peuvent apporter aux scénarios prospectifs. Plus précisément, il s'agira de distinguer comment ces avancées peuvent être utilisées pour aider à la représentation des images du futur à une échelle fine, où les enjeux de la gestion de l'eau font émerger des interrogations liées à l'évolution future des modes d'occupation des sols et des structures paysagères en zone agricole intensive.

CHAPITRE 3 - Scénarios prospectifs spatialisés : de la représentation à la modélisation de la complexité

Si l'élaboration de scénarios prospectifs nécessite de s'appuyer sur la méthode des scénarios, leur spatialisation à l'échelle locale requiert de faire appel à des méthodes de représentation et d'analyse spatiale. Leur utilisation est possible au niveau des deux étapes de la méthode des scénarios : lors de la construction de la base et de l'élaboration des scénarios.

Lors de la phase de construction de la base, le suivi temporel de l'évolution des paysages agricoles fragmentés peut contribuer à la reconstitution des trajectoires d'évolution d'un système territorial. Des documents historiques ou encore des outils de télédétection peuvent être mobilisés lors de cette phase. De même, des outils d'analyse spatiale destinés à l'étude d'un territoire, comme l'analyse systémique par exemple, peuvent aider à mettre en évidence les relations complexes qui existent entre l'évolution de la société et l'évolution de son territoire.

Lors de la phase d'élaboration des scénarios, les méthodes de représentation et de modélisation de la complexité utilisées en géographie peuvent participer à inscrire une démarche prospective dans un cadre territorial spatialisé. Ainsi, la construction de scénarios prospectifs se situe à la convergence de deux disciplines, dans le prolongement des recherches actuelles menées sur la modélisation des changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols.

La première partie dans ce chapitre replace la construction de scénarios prospectifs spatialisés dans le domaine de la modélisation des systèmes complexes. La deuxième partie présente les différentes méthodes de modélisation dynamique des modes d'usages des sols mobilisables pour la construction de scénarios prospectifs spatialisés. Enfin, à la lumière de l'ensemble de ces éléments, la troisième partie expose une démarche méthodologique générique visant la production de scénarios prospectifs spatialisés.

3.1. La modélisation de la complexité : entre paradigme de la prospective et objet de recherches en géographie

Il s'agit de replacer les études spatialisées des changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols dans le cadre de la modélisation de la complexité, paradigme de la prospective et objet de recherches en géographie, et dont les principaux concepts sont définis dans cette partie.

3.1.1. La complexité : la raison d'être de la prospective

La complexité, c'est la « recherche d'une possibilité de penser à travers la complication (c'est-à-dire les inter-rétroactions innombrables), à travers les incertitudes et à travers les contradictions » (Morin, 1990 cité par Piveteau, 1995).

Piveteau (1995) précise que « la révolution scientifique qui s'est opérée au cours du 20ème siècle, et qui a littéralement transformé les disciplines scientifiques (qu'on pense à la

physique ou à la biologie), nous fait accéder à un nouveau paradigme : celui de la complexité. Les modèles que nous inspire l'observation du vivant comme les travaux de la physique des systèmes ouverts loin de l'équilibre bouleversent nos représentations traditionnelles. Ils nous permettent de combiner imprévisibilité et prédictibilité. Le paradigme de la complexité fonde donc la démarche prospective. »

En cela, la géographie possède tous les attributs de la complexité : depuis le simple fait de représenter spatialement un monde réel complexe jusqu'à l'intégration, dans des modèles, des dynamiques naturelles (biogéographiques, géomorphologiques, etc.) et anthropiques (activités agricoles, respect des réglementations, etc.) et de leurs interactions à différentes échelles qui font évoluer un territoire. La prise en compte de l'ensemble de ces relations qui interagissent en boucles de rétroactions positives ou négatives est un objectif commun à la prospective et à la géographie : dans le cas de la première, afin de mieux cerner le fait temporel ; dans le cas de la seconde, afin de mieux comprendre le fait spatial.

La complémentarité la plus poussée reviendrait à utiliser un *géosystème* (encadré 3) au sein d'une démarche prospective pour construire des images spatialisées du futur.

Géosystème

C'est une construction intellectuelle ou technologique sensée décrire une portion de réalité explicitement limitée entre deux niveaux d'échelle et de connaissance. Un système est formé de deux structures. La structure spatio-organisationnelle est composée d'objets hiérarchisés qui sont eux-mêmes des systèmes ou des objets terminaux, (éventuellement composés eux-mêmes de grain). La structure évolutionnelle est composée de processus d'interaction, (déterministes, stochastiques ou mixtes)) agissant entre les objets, (éventuellement par l'intermédiaire de particules ou d'individus) qui transforment leur contenu et éventuellement leur organisation. Les objets et les processus évoluent dans un même référentiel spatio-temporel. Un système est extérieurement limité par l'environnement qui l'englobe et intérieurement limité par ses objets terminaux dont on ne cherche pas à comprendre le fonctionnement, mais qui fonctionnent néanmoins chacun comme un système.

Encadré 3. Définition d'un géosystème (source : Langlois, 2005-a)

3.1.2. Les changements d'occupation et d'utilisation des sols : des processus complexes

Les études réalisées dans le domaine des changements d'occupation et d'utilisation du sol attestent de la complexité du phénomène. Les tentatives (plus ou moins abouties) de compréhension, de représentation et de modélisation spatio-temporelle de ce phénomène aussi bien pour des environnements urbains (Batty and Torrens, 2001), ruraux (Lambin, 1997 et Lambin *et al.,* 2000) ou mixtes (Veldkamp, 1996-a) en témoignent.

3.1.2.1. Des types de changements variés et aux causes multiples

Les changements d'usages des terres sont complexes car les types, l'ampleur et les rythmes de ces changements et les causes qui les provoquent sont variables suivant les types d'occupation du sol, les régions et les sociétés. Concernant les types de changements, Lambin *et alii* (2001) ont recensé quatre grands types de changements d'occupation et d'utilisation des sols : la déforestation intertropicale, les modifications des steppes et prairies naturelles, l'intensification de l'agriculture et l'urbanisation au détriment des zones rurales. L'ampleur de ces changements est variable d'une région du monde à une autre. Quelques principaux facteurs explicatifs de ces mutations sont présentés : la pression démographique et la pauvreté sont à l'origine de la déforestation, le changement climatique global explique l'évolution

climacique des steppes, l'accroissement de la population nécessite plus de terres agricoles, … Les spécificités locales telles que les types de sols, la qualité et la densité des réseaux de communications, les politiques économiques et environnementales en place ou encore les délimitations administratives expliquent des changements différenciés entre deux territoires voisins. Tous ces types de changements sont d'autant plus complexes qu'il est parfois difficile de les détecter aussi bien localement (Hubert-Moy *et al.*, 1997 ; Hubert-Moy, 2004) qu'à des échelles plus vastes (Lambin et Strahler, 1994 ; Lambin, 1996). En effet, les changements d'occupation et d'utilisation des sols peuvent être subtils tant dans le type de changement que dans le rythme de changement : de la modification à la reconversion ; des changements progressifs aux changements épisodiques (Lambin *et al.*, 2003).

3.1.2.2. Des changements multi-scalaires

La difficulté de la détection des changements et de l'identification des causes de changements est accentuée par le décalage entre l'échelle où se passe le changement et l'échelle d'où provient le changement. Cette difficulté peut provenir de certains outils qui ne permettent pas de rendre compte de façon appropriée des types de changements qui se produisent. Dans le cas des capteurs satellitaires, leurs résolutions spatiale, temporelle ou spectrale peuvent parfois être inadaptées à leur suivi. Mais cette difficulté peut aussi résulter de la multitude de facteurs de changements, au poids différencié, provenant de différents niveaux d'organisation – du local au global – et qui rend leur compréhension difficile. En effet, les changements d'occupation et d'utilisation du sol sont la résultante de multiples processus qui agissent à des échelles différentes ayant une influence variable suivant les échelles (Verburg *et al.*, 2004).

Parfois, le poids des facteurs locaux est prépondérant et incite à penser que la somme des changements locaux explique le changement observé à une échelle plus vaste, qu'il soit visible ou nul. Dans cet exemple, si les changements locaux sont contraires, leur agrégation à une échelle plus petite ne permettrait pas de les détecter et laisserait finalement croire qu'aucun changement ne s'est produit (Lambin *et al.*, 2003).

Dans d'autres cas, les changements se produisant à l'échelle locale sont similaires et laissent penser qu'une contrainte globale plus forte (politico-économique, climatique, …) est prépondérante. Mais les changements qui s'observent alors à une échelle plus petite sous la forme d'organisations spatiales similaires peuvent en fait provenir des structures locales et/ou de mimétismes sociaux, tels que les fronts pionniers dans la déforestation amazonienne ou encore le développement des *suburbs* aux Etats-Unis. Dans la plupart des cas, les changements proviennent d'une interaction permanente de facteurs intervenant à différentes échelles.

Ainsi, les changements d'occupation et d'utilisation des sols sont des phénomènes complexes. Ils recoupent les concepts des systèmes complexes (émergence, interactions « sociétés – environnements », dynamiques spatio-temporelles multi-échelles,…) et les concepts qui structurent les approches de modélisation des systèmes complexes qui cherchent à mieux intégrer les interactions multi-échelles, telles que les approches *top-down vs bottom-up* (Veldkamp *et al.*, 2001).

3.1.3. La modélisation de systèmes complexes : concepts et définitions

Partant des travaux Veldkamp et Fresco (1996-a) qui montrent que l'utilisation des sols « *is determined by the interaction in* ***space et time*** *of biophysical factors (constraints) such as soils, climate, topography, etc., and human factors like population, technology, economic conditions, etc.* » Agarwal *et al.* (2000) présentent une classification des modèles de changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols suivant le niveau de modélisation de la complexité sur le plan spatial, temporel et des décisions humaines. Cette méthode de classification est particulièrement intéressante pour définir les concepts liés à la modélisation de systèmes complexes.

3.1.3.1. La dimension spatiale de la complexité

La représentation de la complexité sur le plan spatial peut se décliner à l'aide de trois éléments :

- La résolution. Elle correspond à l'unité spatiale élémentaire du système complexe qui est étudiée. Il peut s'agir d'un pixel (de taille variable), d'un point, d'une ligne ou d'un polygone.
- L'étendue. Elle correspond à la surface totale de la zone étudiée.
- Le caractère spatialement explicite du modèle. Un modèle spatialement explicite peut avoir deux connotations : représentative ou interactive. Un modèle spatialement explicite à connotation représentative signifie que le modèle peut seulement incorporer, produire ou afficher des données en deux, voire trois dimensions spatiales (latitude, longitude, altitude). La valeur de chaque unité géographique élémentaire (pixel, point, ligne ou polygone) peut changer ou rester identique dans le temps. Son évolution est fonction de son état précédent ou encore fonction de l'évolution d'un ou plusieurs sous modèles (économique, démographique,…) au(x) quel(s) est (sont) couplé(s) chacune des unités spatiales élémentaires. Les modèles spatialement explicites à connotation interactive regroupent l'ensemble des caractéristiques des modèles spatialement explicites à connotation représentative, mais prennent en plus en compte les relations spatiales de voisinage (topologiques, matriciels) voire, dans certains cas, les relations multi scalaires.

Un modèle a un niveau de représentation de la complexité élevé sur le plan spatial si, par exemple, il travaille à la fois avec des objets spatiaux fins (haie, parcelle), sur une étendue vaste (plusieurs milliers d'hectares) et en considérant des interactions avec des variables avoisinantes, englobées et englobantes.

3.1.3.2. La dimension temporelle de la complexité

La représentation de la complexité sur le plan temporel peut être effectuée à l'aide de trois variables :

- Le pas de temps. Il correspond à la plus courte unité élémentaire de temps à laquelle un changement peut se produire.
- La durée. Elle correspond à l'intervalle de temps total durant lequel des évolutions peuvent se réaliser.

- Le caractère dynamique du modèle. Cela correspond à la capacité du modèle à prendre en compte des décalages temporels, des rythmes d'évolution variés pour différentes variables ou encore des boucles de rétroactions.

Un modèle a un niveau de représentation de la complexité élevé sur le plan temporel si, par exemple, il travaille à la fois sur des pas de temps très fins (mois, année), sur une longue période de temps (plusieurs dizaine d'années) tout en représentant des changements temporels instantanés, progressifs et/ou cycliques ayant des pas de temps et des fréquences variables.

3.1.3.3. La dimension des "décisions humaines" de la complexité

La représentation de la complexité sur le plan des décisions humaines peut être définie à partir de trois variables :

- L'agent. Cela correspond à l'unité de base modélisée prenant une décision qui implique un changement du système (d'occupation du sol par exemple) à un pas de temps et une échelle spatiale donnés. Il peut s'agir d'un individu ou d'un ensemble d'individus – une société – considéré comme un tout.
- La représentation de plusieurs niveaux ou groupes sociaux pouvant influencer l'évolution du système.
- Les types d'interactions « humaines ». Cela comprend à la fois la manière dont sont formalisées les relations entre l'agent et son environnement territorial (relations de type déterministe ou dépendantes de plusieurs facteurs) mais aussi des relations entre agents d'un même niveau d'organisation (ex : entre deux ou plusieurs agriculteurs) et/ou des relations hiérarchiques entre deux échelons différents (ex : une réforme agricole à l'échelon nationale et ses conséquences sur les choix des agriculteurs concernés).

Un modèle a un niveau de représentation de la complexité élevé sur le plan des décisions humaines si, par exemple, il est capable de représenter à la fois des décisions individuelles, qui ne sont pas seulement déterministes mais tiennent compte aussi d'un contexte socio-économique et environnemental (relation avec d'autres individus, échelons de décisions) et dont l'évolution influence ses décisions futures.

La modélisation des décisions humaines et faits sociaux est un domaine de recherche en soi, très complexe. C'est pourquoi Agarwal *et al.* (2000) ont réalisé une typologie des décisions humaines assez simple (tableau 1) : elle part du niveau le plus bas où aucune décision humaine n'est modélisée, où seules des variables biophysiques interviennent dans l'évolution du système, au niveau le plus élevé où les décisions sont prises en tenant compte à la fois des décisions d'autres agents et des impacts qu'une telle décision pourrait avoir sur l'environnement dans lequel il vit.

Cette définition de la complexité permet de classer et de comparer des outils de modélisation appliqués à l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols à l'aide d'un graphe tridimensionnel (figure 19). Quelques exemples d'outils de modélisation sont représentés sur ce graphe (les SIG, les automates cellulaires, les modèles TELSA ou SME…). Ils illustrent comment le temps, l'espace et les décisions humaines sont pris en compte dans la modélisation de systèmes complexes. Souvent, une dimension est privilégiée au détriment des deux autres.

Level	
1	No human decision making -- only biophysical variables in the model
2	Human decision making assumed to be determinately related to population size, change, or density
3	Human decision making seen as a probability function depending on socioeconomic and/or biophysical variables beyond population variables **without** feedback from the environment to the choice function
4	Human decision making seen as a probability function depending on socioeconomic and/or biophysical variables beyond population variables **with** feedback from the environment to the choice function
5	One type of agent whose decisions are overtly modeled in regard to choices made about variables that affect other processes and outcomes
6	Multiple types of agents whose decisions are overtly modeled in regard to choices made about variables that affect other processes and outcomes; the model may also be able to handle changes in the shape of domains as time steps are processed or interaction between decision-making agents at multiple human decision-making scales

Tableau 1. Les différents niveaux de modélisation de la complexité sur le plan des décisions humaines (source : Agarwal *et al.*, 2000).

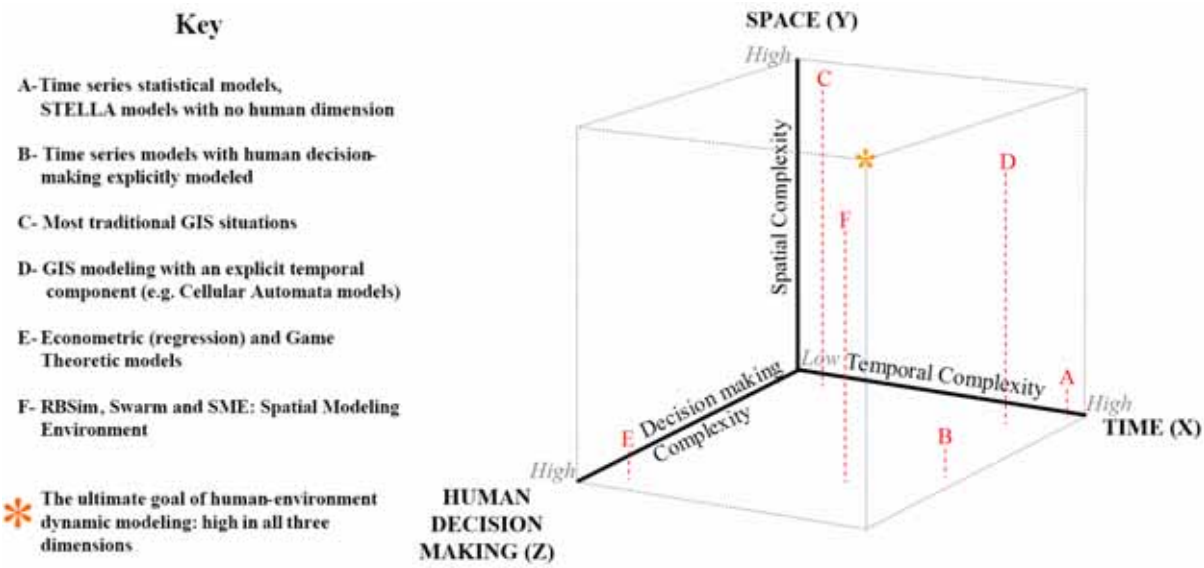


Figure 19. Graphe tridimensionnel d'analyse de la représentation du niveau de complexité d'un outil de modélisation d'un système complexe, illustré de quelques exemples d'outils de modélisation (source Agarwal *et al.*, 2000).

3.2. Modélisations des changements d'occupation et d'utilisation des sols

Il existe selon nous, trois types de modélisation des changements d'occupation et d'utilisation des sols que nous exposerons successivement : la représentation spatiale des états successifs, la modélisation systémique et la modélisation dynamique.

3.2.1. La représentation spatiale des états successifs d'un système complexe

La cartographie peut être assimilée à de la modélisation au sens simple du terme, c'est à dire à la représentation simplifiée de la réalité. Elle le fait de façon synchronique, pour un moment ou une date donnée. L'utilisation de plusieurs cartographies, représentant des états successifs de l'occupation et de l'utilisation des sols, permet de rendre compte des changements intervenus sur une période définie. De nombreux outils et méthodes ont été mis au point dans ce but. Sans chercher à être exhaustif, nous en présentons trois : les chorèmes, les SIG et la conception de vues paysagères.

3.2.1.1. Les chorèmes

Initiateur de la chorématique, Brunet (1986, 1990) précise qu'elle « sert à chercher ; à se représenter ; à comprendre ; puis à représenter et faire comprendre ». D'une façon très synthétique et explicite, Grataloup (1993) résume l'apport des chorèmes : « à la base de la chorématique, il y a la volonté de déconstruire la complexité spatiale ». Les chorèmes ont l'avantage de représenter des dynamiques territoriales (flux, interfaces, potentialités et contraintes, etc.) de façon synthétique et intelligible pour des non géographes. Nous ne citerons que deux exemples explicites de l'utilisation des chorèmes pour la compréhension de la dynamique territoriale et pour son utilisation potentielle en matière de planification. Le premier (figure 20) présente l'évolution de la gestion territoriale de l'activité agricole dans un village lorrain (Benoît, 1990). Le second concerne l'île de la Réunion (Lajoie, 2005) et met en évidence les tendances d'occupation de l'espace par la population et les zones stratégiques pour lutter contre une accentuation des déséquilibres existants et futurs.

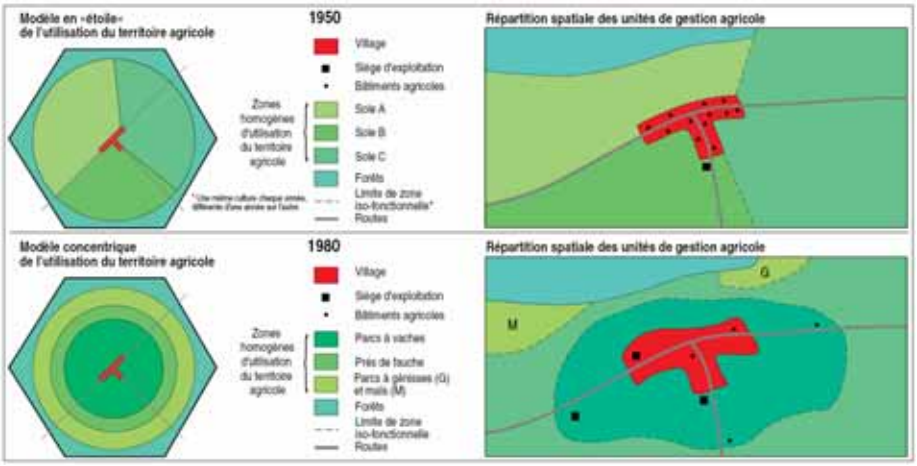


Figure 20. Exemple d'utilisation des chorèmes pour représenter l'évolution des unités de gestion agricole dans un village lorrain (source : Benoît, 1990)

3.2.1.2. Les Systèmes d'Information Géographique

Trop souvent, un SIG est assimilé aux outils et méthodes informatiques de cartographie (logiciels, structuration des données, …) alors qu'il s'agit d'un système d'information, regroupant « l'ensemble des structures, des méthodes, des outils et des données constitué pour rendre compte de phénomènes localisés dans un espace spécifique et faciliter les décisions à prendre sur cet espace » (Joliveau, 1996). Ce plaidoyer est largement justifié par le fait que la représentation cartographique sous forme numérique est largement dépendante d'une

composante organisationnelle (Point de vue de l'utilisateur ? Cartographies réalisées par qui et pour qui ? Réalisations « politiquement correctes » ou volontairement polémiques ?...), d'une composante informationnelle (Type de données disponibles : format de la donnée - raster ou vecteur- ? Echelle de restitution ? ; Qualité de la donnée ?…), d'une composante technologique (Quel(s) logiciel(s) ?...) et d'une composante méthodologique (Choix d'une sémiologie graphique ? Quels traitements réalisés ?...).

Les SIG sont les outils les plus employés pour réaliser des représentations spatiales d'un territoire. En effet, ils permettent d'une manière générale de représenter l'espace de façon discrète ou continue, de prendre en compte des relations spatiales de voisinage et/ou d'échelles. Ils sont aujourd'hui la clef de voûte de l'analyse spatiale, au sens d'« étude formalisée de la configuration et des propriétés de l'espace produit et vécu par les sociétés humaines » (Chamussy *et al.*, 1998).

3.2.1.3. La conception de vues paysagères

« La dimension paysagère du territoire ne s'exprime pas au mieux à travers les cartes, qui correspondent à la vue zénithale [et thématique] de la réalité, caractéristiques militaires ou de l'aménageur, mais étrangère à celle des habitants et utilisateurs de l'espace » (Joliveau et Michelin, 2001). Ce constat signifie que la complexité d'un territoire est une notion relative : elle n'est pas appréhendée de la même façon entre une personne quelconque et une personne habituée à manipuler des données cartographiques.

Toutefois, des représentations de type blocs diagrammes (figure 21-a), photographies aériennes drapées sur un modèle numérique de terrain, vues numériques pseudo réalistes (figure 21-b), permettent à chacun de se faire une opinion sur l'organisation d'un territoire à partir d'un outil commun. Les expériences de Michelin (2000) et de Joliveau et Michelin (2001) témoignent de l'utilité de ce type de représentations de la complexité, qui permettent la convergence des points de vue des différents acteurs et facilitent le dialogue pour des actions concertées.

La production de vues numériques paysagères peut être effectuée au sein de logiciels SIG ou bien à partir de logiciels spécifiques de modélisation virtuelle tels que Vistapro, Genesis II ou Visual Nature Studio.

(a) (b)

Figure 21. Exemples de (a) vue paysagère par bloc diagramme d'un vallon et de (b) vue paysagère numérique de la commune de Viscomtat – Puy-de-Dôme (source : Joliveau, 2001)

3.2.2. L'approche systémique : la représentation du fonctionnement d'un système complexe

Il s'agit d'une approche conceptuelle, formalisée ou non sous forme mathématique, décrivant plusieurs processus et leurs interactions simultanément. Les systèmes constituent ainsi un moyen de structuration des bases de connaissances et des faits. L'analyse systémique a pour intérêt d'appréhender un territoire comme un système dynamique, permettant de comprendre, dans une approche globale, les mécanismes de la dynamique des activités humaines dans un espace géographique donné (Durand, 1983). A titre d'exemple, le modèle AMORAL est un des premiers modèles formalisés issu d'une approche systémique en France. L'approche systémique appliquée en géographie cherche ainsi à établir l'ensemble des interactions spatio-temporelles entre des contraintes historiques, économiques, sociales, mentales, physiques, naturelles et un territoire donné (figure 22). L'ensemble de ces interrelations influence le fonctionnement et la structuration de ce territoire, voire le fonctionnement et la structuration d'autres territoires englobés ou englobants, voisins directs ou éloignés. L'élargissement de ces modèles aboutit aux modèles de simulation dynamique qui prennent en compte dans leurs processus de modélisation les différentes configurations spatiales de la surface du sol et les actions possibles que l'homme peut effectuer pour modifier l'utilisation du sol (Dale, 1993).

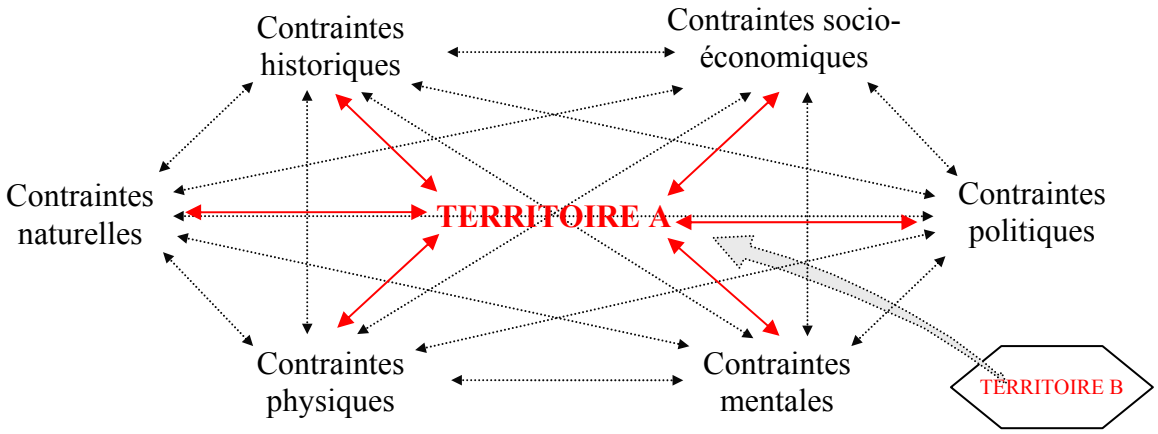


Figure 22. Illustration de l'analyse systémique en géographie cherchant à définir l'ensemble des interactions entre contraintes et territoire(s) qui le structurent et le font fonctionner. (source : J.-P. Marchand, sous presse, adapté)

3.2.3. La modélisation dynamique de systèmes complexes

De nombreux outils de modélisation ont été créés pour modéliser de façon spatialisée l'évolution de systèmes complexes, pour simuler les changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols.

3.2.3.1. Les types de modèles dynamiques existants

De multiples modèles ont été développés pour produire des simulations de l'évolution de l'utilisation des sols (Le Ber et Benoît, 1998 ; Briassoulis, 1999 ; Agarwal *et al.*, 2000 ; Veldkamp et Lambin, 2000). Les classifications de modèles sont nombreuses. Certaines classifications se basent sur la façon dont le temps est pris en compte dans les modèles (Paegelow, 2004), sur leur domaine d'application (Lambin, 2000), ou encore sur l'approche méthodologique empruntée, qu'elle soit généraliste (Coquillard et Hill, 1997) « dure » ou « approximative » (Corgne, 2004).

Nous avons choisi de nous baser sur la classification proposée par Gaucherel *et al.* (2004-a, submitted) d'une part car « la classification retenue fait essentiellement référence à l'algorithme central du modèle et ne pose pas de restriction *a priori* quant à ses caractéristiques écologiques, spatio-temporelles ou informatiques » et, d'autre part, car elle s'inspire des avancées récentes réalisées en matière de modélisation du paysage. En effet, la définition de paysage que les auteurs proposent est très proche de celle de « système complexe ». Ainsi, « au-delà de son acception classique comme une portion d'espace que le regard peut appréhender, le paysage peut être défini comme un système au sein duquel interagissent des processus naturels et anthropiques : c'est ainsi un assemblage d'éléments qui évoluent et interagissent entre eux à plusieurs échelles spatiales et temporelles (Forman and Godron, 1981 ; Auclair *et al.*, 2001 ; Burel and Baudry, 2003 ; Lim and Honjo, 2003 cités par Gaucherel *et al.*, 2005). Cette définition se limite ainsi à la partie fonctionnelle du paysage, au « système producteur », selon le modèle conceptuel de paysage définis par Brossard et Wieber (1984).Dès lors, nous nous situons dans un domaine plus vaste que celui des modèles dédiés aux changements d'occupation et d'utilisation des sols. Les types de modèles présentés ci-après sont utilisables (et utilisés) en modélisation dynamique du paysage.

3.2.3.1.1. Les modèles mécanistes

Egalement appelés modèles déterministes, les modèles mécanistes ont pour objectif de modéliser des relations causales entre différentes variables d'un système, permettant ainsi de simuler des processus (physico-chimiques, socio-économiques,…). Souvent formalisés de façon mathématique, ces modèles décrivent le fonctionnement du système étudié à l'aide d'équations (équations différentielles, équations non linéaires,…) et dont la résolution débouche sur une situation d'équilibre (Sklar et Costanza, 1991), ne laissant aucune place à l'aléa. Par exemple, des processus géochimiques, géomorphologiques, hydrologiques ou encore climatiques peuvent être mis en équation (Voinov *et al.*, 1999 ; Birnir *et al.*, 2001). Le facteur anthropique est beaucoup plus difficile de prendre en compte, car il joue le rôle d'un élément perturbateur dont l'impact n'est jamais linéaire.

3.2.3.1.2. Les modèles empiriques

Un modèle est empirique (ou encore conceptuel) lorsqu'il est construit à partir de connaissances expérimentales. Par exemple, l'ensemble des modèles qui se sont inspirés des recherches menées en Intelligence Artificielle, tels que les automates cellulaires (Von Neumann, 1966 ; Codd, 1968 ; Wolfram, 1983 et 1986), les systèmes multi-agents (Ferber, 1995) ou encore les réseaux neuronaux (Lepage, 2002) est, par définition, empirique.

3.2.3.1.3. Les modèles statistiques

Ils peuvent être utilisés indifféremment dans l'une des deux classes de modèles citées précédemment. Ainsi une régression (ou une règle plus élaborée) peut représenter une règle causale des processus étudiés (Ludeke *et al.*, 1990 ; Henderson-Sellers, 1996 ; Mertens et Lambin, 1997 ; Young 1998). Dans certains cas, les modèles statistiques sont appelés stochastiques dès lors qu'ils font appel à des tirages aléatoires (simulations Monte Carlo) ou encore lorsqu'ils sont fondés sur une distribution de probabilités de transition d'un état à un autre telles que les chaînes de Markov (Boerner *et al.*, 1996).

3.2.3.1.4. Les modèles téléonomiques

Un modèle est téléonomique dès lors qu'il poursuit un but défini, une situation idéale (réelle ou supposée). Ils comprennent les modèles dits d'*optimisation* en économie par

exemple ou encore les modèles de maximisation de fonctions de buts ou de coût (Tatem *et al.*, 2001-a et 2001-b) telle que l'entropie (Wilhelm and Bruggeman, 2000).

3.2.3.1.5. Les modèles hybrides

Les modèles hybrides correspondent à l'ensemble des modèles issus du couplage de modèles appartenant aux types précédents. Les développements récents en matière de modélisation couplent les avantages de plusieurs modèles, rendant ainsi toute classification de modèles discutable. Le couplage peut aller d'un simple transfert de données entre deux modèles au fonctionnement autonome, à une intégration plus poussée de modèles imbriqués, en passant par l'utilisation des principes informatiques, mathématiques ou conceptuels dans un autre type de modèle.

A titre d'exemple, le couplage entre des chaînes de Markov et des automates cellulaires génère des modèles qui sont communément employés en matière de simulation de l'évolution de l'utilisation des sols (Li et Reynolds, 1997 ; Eastman, 2003 ; Houet et Hubert-Moy, 2006). Autres exemples, des réseaux neuronaux (modèles de type empirique) peuvent intégrer aussi bien des propriétés des modèles statistiques (Abuelgasim *et al.*, 1999) que des propriétés des modèles mécanistes (Mercier *et al.*, 2005 ; Houet *et al.*, 2004-b).

3.2.3.1.6. Les plateformes de modélisation

Gaucherel *et alii* (2004-a, submitted) distinguent les plateformes de modélisation des précédents types de modèles d'après leur structuration. Ils définissent les plateformes comme se situant « à mi chemin entre une multitude de modèles [hybrides ou non] modestes, spécifiques à leur objectifs, efficaces, mais coûteux avec des résultats locaux par définition, et un utopique [méta]-modèle universel qui saurait répondre à tous les objectifs (figure 23) ». De façon formelle : « Une plateforme se présente comme un noyau commun de données, de connaissances et de méthodes autour duquel gravite des modèles spécifiques » (Gaucherel et al., 2004-a et submitted).

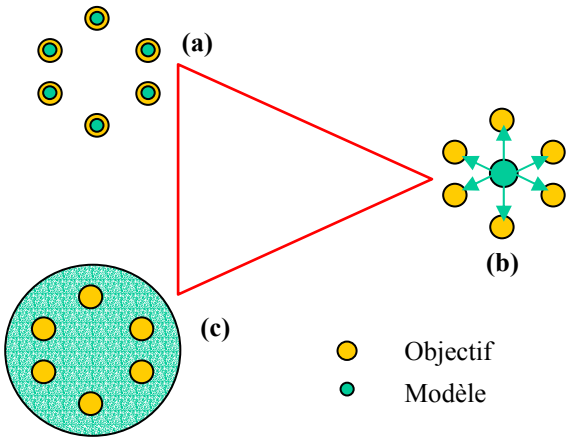


Figure 23. Différenciation entre (a) des modèles destinés à des applications spécifiques, (b) une plateforme de modélisation qui regroupe un noyau commun de données, de connaissances et de méthodes et autour duquel gravite des modèles qui répondent à des objectifs spécifiques, et (c) un modèle universel qui est capable de répondre à tous les objectifs (source : Gaucherel, 2004-a).

Un certain nombre de plateformes développées pour la simulation dynamique du paysage a été recensé (Houet et Gaucherel, sous presse) : TELSA (Kurz *et al.*, 2000), LANDIS (He *et al.*, 1999), CORMAS (Antona *et al.*, 1998 ; Bousquet *et al.*, 1998 ; Bousquet, 2001), CAPSIS (de Coligny *et al.*, 2003), SME (Costanza and Voinov, 2004), SELES (Fall and Fall, 2001), CLUE (Veldkamp and Fresco, 1996-a et 1996-b).

Enfin, si « choisir un type de modèle est un préalable, ceci ne suffit pas à concevoir un modèle. Il est également important de penser au préalable à son langage (machine ou non

(Congleton *et al.*, 1997)), à sa structure (hiérarchique, orienté-objet, relation-entités… (He *et al.*, 1999 ; Le Ber and Napoli, 2002)), à sa gestion des informations (formats des données, courbes…), à son ouverture de programmation (Maxwell and Costanza, 1997) ou à sa validation (Jorgensen and Bendoricchio, 2001) » (cité par Gaucherel *et al.*, submitted).

Nous avons présenté succinctement les principes théoriques qui permettent de distinguer les différents types de modèles. Une fois cette clarification faite, il semble important de présenter plus en détail les modèles dynamiques et spatialement explicites.

3.2.3.2. Les modèles dynamiques et spatialement explicites

Un modèle est dynamique dès lors qu'il intègre la notion d'évolution, qu'elle soit déclinée dans le temps, dans l'espace ou les deux. D'autre part, nous assimilerons ici le terme de « spatialement explicite » à sa déclinaison « interactive ». Ceci signifie que non seulement ces modèles sont distribués dans l'espace, mais aussi « spatialement intelligents ». Ils ont une connaissance plus ou moins poussée de l'environnement qu'ils étudient et ils utilisent cette connaissance dans leur évolution.

Les différents principes conceptuels de modélisation utilisés pour réaliser des simulations dynamiques et spatialement explicites sont présentés ci-après. Trois types de modèles peuvent être distingués : les automates cellulaires, les systèmes multi-agents et les réseaux neuronaux.

3.2.3.2.1. Les automates cellulaires

La notion d'automate cellulaire est née de la convergence d'idées de Von Neumann qui cherchait à résoudre le problème de l'auto-reproduction du vivant et d'Ulam qui travaillait sur les objets géométriques récursifs, et qui lui conseillait d'utiliser des ordinateurs pour faire fonctionner un système cellulaire soumis à des règles d'évolutions simples. C'est Conway, qui, dans les années 1970, a médiatisé ce modèle avec « Le jeu de la vie » (d'après Langlois, 2005-b).

Un automate cellulaire peut se définir comme un outil informatique représentant un espace (ou domaine) discret et infini à une, deux, voire trois dimensions, composé par la juxtaposition immédiate de « cellules » triangulaires, carrées ou hexagonales ayant un ensemble d'états discrets et finis. Ces dernières forment ainsi un réseau où existe des relations topologiques (ou de voisinage), et dont la dynamique temporelle, discrète, destinée à faire évoluer l'état des cellules, dépend de règles de transitions qui prennent en compte à la fois l'état précédent de la cellule concernée ainsi que celui de ces cellules voisines (Langlois et Phipps, 1997 ; Elmoznino, 1999 ; Fatès, 2001 ; Langlois, 2005-b).

Les avancées en matière de modélisation spatio-temporelle à partir d'automates cellulaires sont réelles depuis le milieu des années 1990, quelque soit le domaine d'application. Ceci provient des améliorations faites dans la définition des règles de transition, dans la formalisation des cellules et de leur automate associé et ainsi que dans la définition du voisinage. Leur fonctionnement et ces avancées sont illustrés ci-après à partir d'exemples concrets.

Sur le plan algorithmique, les travaux de Dubos-Paillard *et al.* (2003) sont certainement parmi les plus simples et pédagogiques. Ces derniers utilisent un automate cellulaire dont les règles de transition, déterministes, sont fondées sur le principe du *Jeu de la vie* de Conway, pour simuler l'évolution urbaine de l'agglomération rouennaise (figure 24). Dans les cas des travaux de White et Engelen (1993) et de Batty et Xie (1994), les règles de transition sont stochastiques.

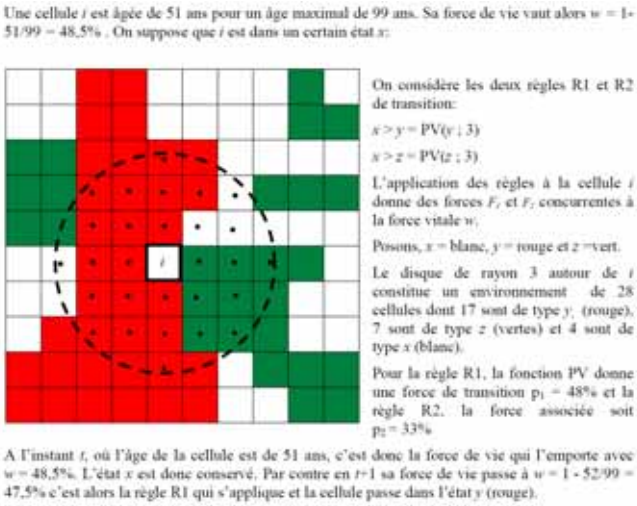


Figure 24. Exemple d'automate cellulaire (SpaCelle) et de règles de transition déterministes (*in* Dubos-Paillard *et al.*, 2003)

Les améliorations concernant les règles de transition proviennent de l'utilisation d'autres méthodes ou d'un couplage avec d'autres modèles. Par exemple, les chaînes de Markov sont utilisées pour obtenir des probabilités de transition pour les différents états du système (classes d'occupation du sol) jusqu'à une date donnée (t_{+n}), à l'aide de l'analyse des changements observés entre des situations à t_{-n} et t (Eastman, 2003 ; Paegelow and Calmacho Olmedo, 2005).

Les améliorations en matière de définition du voisinage sont elles aussi importantes. Elles s'illustrent aujourd'hui par la prise en compte, dans un espace bi-dimensionnel, de différents *kernel* possibles (voisinage de Von Neumann à 4 voisins, voisinage de Moore à 8 voisins, ou toutes autres possibilités) ou encore par l'intégration de contraintes liées à des espaces englobants et englobés, et qui peut être assimilée à du voisinage. Les modèles CLUE (Veldkamp and Fresco, 1996-a) et ses dérivés CLUE-CR (Veldkamp and Fresco, 1996-b) et CLUE-S (Verburgh *et al.*, 2002), Environment Explorer (Engelen, 2002) et une approche dénommée « *Dynamic Landscape Simulation* » (Wang and Zang, 2001 ; figure 25) fondés sur ce principe multi-scalaire présentent des résultats très intéressants, notamment parce qu'ils parviennent ainsi à intégrer des contraintes globales (à l'aide de couplage avec des modèles socio-économique, démographique,…) et locales (aménités naturelles, …).

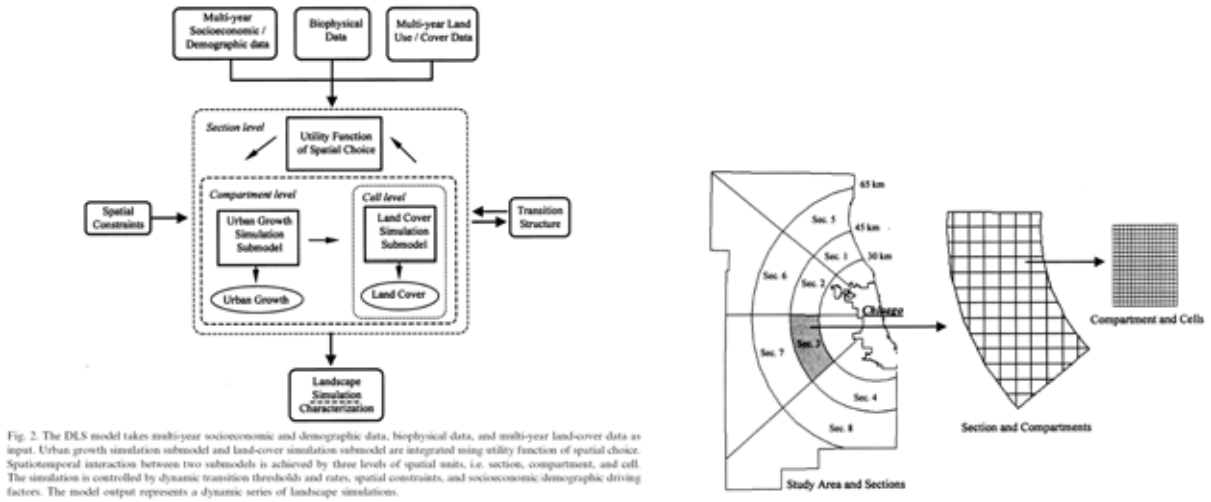


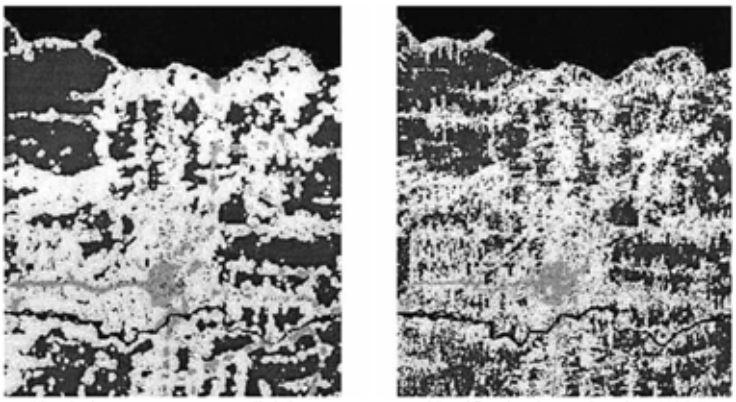
Figure 25. Fonctionnement de l'approche DLS de Wang and Zang (2001) appliquée sur Chicago.

Les dernières avancées à souligner concernent les cellules. Pour modéliser le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant, Langlois et Delahaye (2002) ont développé un automate dans lequel les cellules peuvent avoir des formes variables (points, lignes, surfaces) afin de répondre à des contraintes topologiques.

Le caractère spatialement explicite des automates cellulaires provient donc de la prise en compte de son voisinage dans ses choix d'évolution (attributaires) au cours du temps. Chaque automate possède un comportement individuel au sein d'un environnement défini. Le fonctionnement de l'ensemble permet de reproduire des phénomènes spatiaux d'autoreproduction, de diffusion ou encore de ségrégation.

La modélisation de règles d'évolution plus ou moins complexes (type de voisinage, intégration de facteurs multi-échelles, règles de transitions simples, déterministes, probabilistes ou encore à l'aide de sous modèles…) vise à reproduire un processus d'évolution à l'échelle locale. L'analyse du résultat s'intéresse, à l'échelle globale, à l'émergence de structures spatiales qui se mettent en place et/ou aux dynamiques de diffusion d'une forme spatiale.

Toutefois, la dynamique du système repose sur des interactions locales entre les entités spatiales voisines. Les automates cellulaires agrègent de ce fait des interactions sociales de au niveau des entités spatiales, ce qui implique une homogénéité des comportements individuels et qui, d'après Bonnefoy (2001) met en évidence la difficile prise en compte des interactions sociales entre les entités d'un système. La figure 26 illustre cette limite.



Simulation par automates cellulaires — Classification image Landsat (1996)

Figure 26. Différenciation entre une simulation (à gauche) par automate cellulaire de la déforestation en Amazonie équatorienne à l'aide du modèle Delta et la situation réelle (à droite) témoignant des limites des automates cellulaires à modéliser l'influence des interactions sociales (d'après Messina and Walsh, 2001 *in* Nédélec, 2005)

3.2.3.2.2. Les systèmes multi-agents

De façon synthétique, Ferber (1995) définit les systèmes multi-agents (SMA) comme « constitués d'un ensemble d'agents autonomes et indépendants en interaction, qui coordonnent leurs actions dans un environnement et forment une organisation artificielle ».

L'environnement constitue l'espace de simulation et nous nous limiterons ici au cadre spatial. Il « peut ainsi être un support, c'est-à-dire un simple espace d'évolution pour les agents ; une ressource, l'environnement se caractérise alors par les attributs qui sont à l'origine de l'action des agents ; un champ de communication entre agents » (Daudé, 2005). Il peut être une entité ayant sa propre dynamique lorsqu'il est couplé à un automate cellulaire.

Un agent est capable d'agir sur l'environnement ou sur sa propre entité, de se déplacer ou non, de communiquer avec tout ou partie des autres agents (figure 27). Deux types d'agents peuvent être distingués : les agents *réactifs* et les agents *cognitifs*. Les premiers se limitent à réagir à des *stimuli* externes pour mettre en œuvre une action. Les seconds ont une capacité à mémoriser des connaissances sur leur environnement et les autres agents et à avoir une représentation du milieu dans lequel ils évoluent. Ils sont capables de prendre des décisions en fonction de ces connaissances et représentations et sont en mesure de tirer profit de leurs expériences passées pour évaluer l'impact de leurs actions dans le futur (Varela, 1989). leur comportement est la conséquence de leurs compétences, de leurs ressources, de leurs observations, de leurs connaissances et des interactions avec les autres agents (Ferber, 1995).

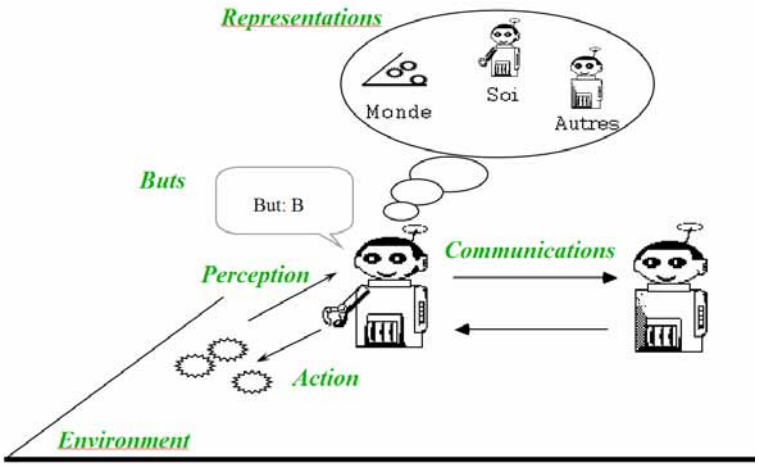


Figure 27. Fonctionnement général d'un agent au sein d'un SMA (*in* Ferber, 2005)

A l'inverse des automates cellulaires, les SMA sont fondés sur le principe d'interaction soit entre les agents par le biais de messages, soit entre l'agent et son environnement par l'intermédiaire de signaux. Ici l'interaction n'est plus limitée un voisinage, ni même à une relation spatiale.

« Un SMA géographique est donc un ensemble plus ou moins organisé d'agents situés dans un environnement, lequel peut être doué d'une dynamique interne ou résultant de l'action des agents. Plusieurs niveaux sont susceptibles de coexister dans un même système, les agents pouvant appartenir à un ou plusieurs niveaux qui forment eux-mêmes des agents. Ces différents niveaux sont gouvernés par des règles qui leur sont propres, on parlera d'autonomie d'agents, et sont en interaction permanente, on parlera d'organisation (figure 28). Les interactions au sein de ces différents niveaux permettent au système de fonctionner et peuvent être à l'origine de phénomènes émergents » (Daudé, 2005).

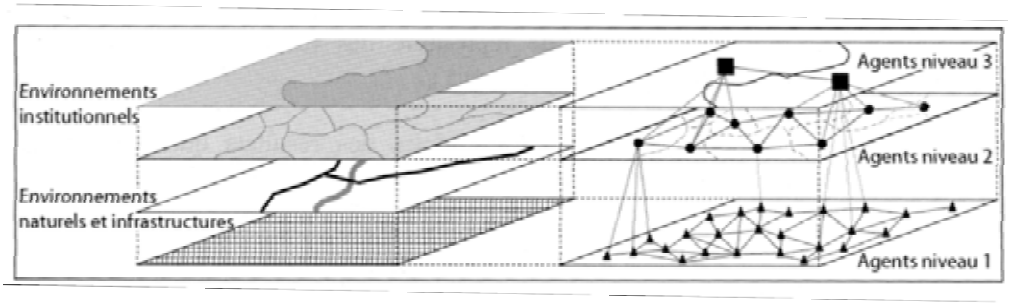


Figure 28. Représentation schématique d'un SMA en géographie (d'après Daudé, 2005)

Les SMA peuvent ainsi servir en géographie à simuler des processus de diffusion (Daudé, 2002), de flux de population (Martin et Burel, 1998), d'émergence de structures urbaines (Sanders *et al.*, 1997), d'organisations socio-spatiales pour la gestion concertée en environnement (Abrami, 2004), d'évolutions paysagères (Poix et Michelin, 1998 et 2000 ; Zunga *et al.*, 1998).

Les SMA permettent donc de prendre en compte à la fois des variables qualitatives et quantitatives et, tout comme les automates cellulaires les plus évolués, des interactions multi-scalaires pour représenter des phénomènes complexes et détecter des phénomènes émergents (Berger *et al,*. 2002). « Ces différents facteurs que l'on souhaite intégrer au modèle doivent être collectés de manière exhaustive et hiérarchisée, comme pour toute approche orienté-objet » (Daudé, 2005).

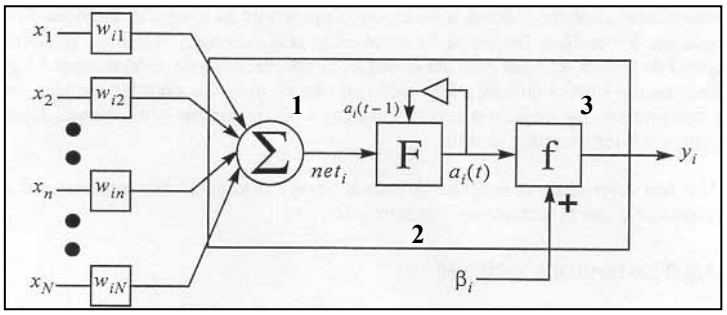
Toutefois, pour apporter une dynamique spatiale à un territoire, les SMA nécessitent d'être couplés à un automate cellulaire.

3.2.3.2.3. Les réseaux neuronaux

Le paradigme des réseaux de neurones artificiels s'inspire des réseaux de neurones biologiques formidablement efficaces pour reconnaître, apprendre et percevoir des formes. L'efficacité des réseaux de neurones artificiels est due en grande partie au nombre très élevé d'unités de calcul, les neurones, et aux interconnexions qui les relient. L'information, dans un tel réseau, est emmagasinée dans les poids des connexions (mémoire à long terme) et dans l'état des neurones (mémoire à court terme). Le comportement dynamique d'un réseau de neurones peut être changé en modifiant le poids des interconnexions dans la phase d'apprentissage (Le Page, 2002). Un des grands domaines d'application des réseaux neuronaux est la reconnaissance de formes ou d'objets. Leur emploi dans le domaine de la télédétection, depuis le début des années 90, est orienté essentiellement vers la localisation ou la classification d'éléments du paysage (Moody *et al.*, 1996, Foody,1996, Carpenter *et al.*,1999).

Ces méthodes ont l'avantage de ne pas nécessiter de connaissances *a priori* sur la distribution statistique des données. Ceci constitue un avantage prépondérant par rapport aux méthodes statistiques qui requièrent une modélisation des données, ce qui devient difficile si elles ne répondent pas à une fonction de distribution connue ou de type gaussienne (Benediktsson *et al.*, 1990). D'une façon générale, les réseaux neuronaux sont particulièrement performants pour détecter ou représenter des changements qui ne répondent pas à une loi normale ou linéaire. Ce sont une forme d'intelligence artificielle qui a pour but d'imiter le fonctionnement du cerveau humain en s'inspirant de l'architecture neuronale biologique. Ainsi, un réseau de neurones artificiels est composé d'un certain nombre d'unités de calcul souvent non linéaires (les neurones), structurées en couches et opérant en parallèle.

Un neurone est une unité de calcul simple réalisant une transformation (souvent non-linéaire), sur la somme pondérée de la sortie des neurones qui lui sont connectés (Le Page, 2002). De la valeur de cette somme va dépendre l'activation d'une fonction (F) de laquelle découlera le calcul de la valeur de sortie grâce à une fonction de sortie (*f*) (figure 29).



1 : Somme des entrées pondérées par les valeurs de poids.

2 : Calcul de la valeur d'activation par la fonction d'activation F.

3 : Calcul de la valeur de sortie y_i d'après une fonction de sortie *f*.

Figure 29. Fonctionnement schématique d'un neurone artificiel (*in* Le Page, 2002)

L'architecture du réseau neuronal est définie par les connexions existantes entre les neurones de couches différentes et parfois aussi au sein d'une même couche. Les différences entre les réseaux de neurones artificiels résident essentiellement dans la propagation de l'information entre la couche d'entrée et la couche de sortie. En effet, certaines connexions sont directes, unidirectionnelles ou anticipatives, c'est à dire que le signal se propage de l'entrée vers la sortie, alors que d'autres sont bidirectionnelles ou à rétro-action. Le signal est rétropropagé à la couche émettrice à des fins de comparaison. Chaque réseau a par conséquent une logique de fonctionnement qui dépend directement de son architecture. Une fois que l'architecture est définie, une phase d'apprentissage permet de déterminer les valeurs de poids des connexions. Le type d'apprentissage utilisé pour l'entraîner peut être soit :

- supervisé au travers des exemples de relations entrée-sortie connues *a priori*, et constituant le jeu d'échantillons d'entraînement.
- non supervisé, auquel cas le réseau apprend lui-même à regrouper les vecteurs d'entrées en diverses catégories selon un critère de ressemblance prédéfini.

Dans tous les cas, la séquence d'entraînement doit être représentative pour adapter le réseau à la thématique donnée. Il existe à l'heure actuelle un grand nombre de types de réseaux neuronaux ont tous des propriétés différentes et complémentaires (figure 30).

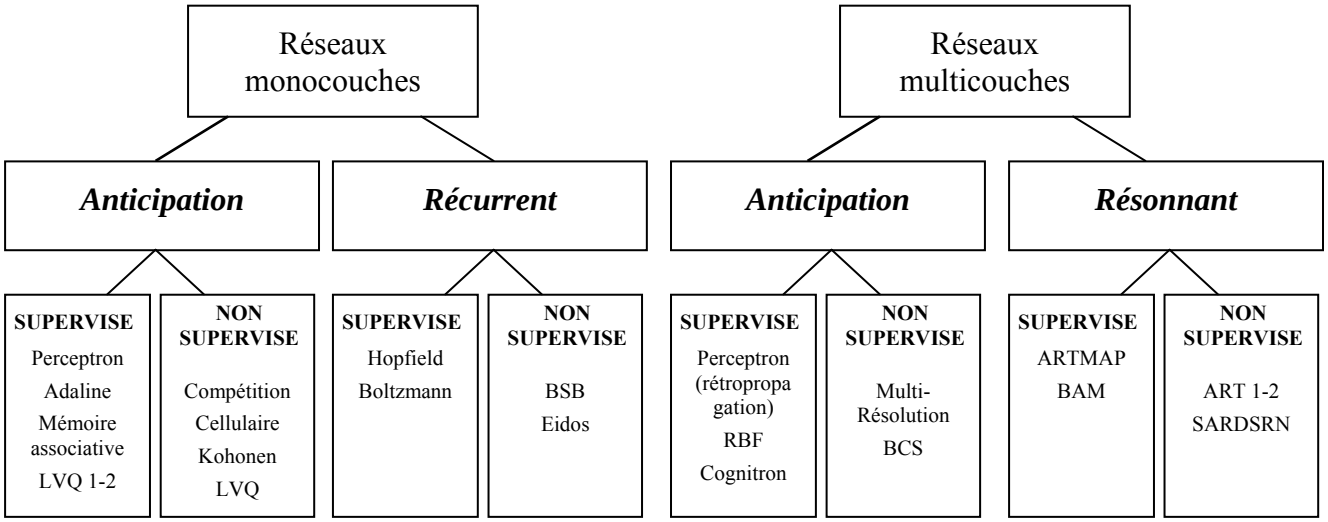


Figure 30. Taxonomie des modèles des réseaux de neurones artificiels. Les modèles sont classifiés dans l'ordre de haut en bas selon le nombre de couches (excluant la couche d'entrée), la dynamique de propagation, unidirectionnelle ou bidirectionnelle, et le mode d'apprentissage (d'après Jain and Mao, 1996).

Les réseaux à rétro-propagation comparent les probabilités d'appartenance *a posteriori* d'un pixel à une classe donnée au cours d'un processus itératif. Les réseaux résonnants, comme les réseaux ART (*Adaptative Resonance Theory*) ont une capacité d'emmagasiner des connaissances et de s'en servir par la suite (fonction d'apprentissage supervisée ou non). Ce type de réseaux permet non seulement d'intégrer la dimension temporelle dans l'étude de l'occupation des sols, mais aussi de la gérer avec des résultats meilleurs que les méthodes de classification et de détection de changements classiques (Gopal and Woodcock, 1996 ; Abuelgasim *et al.*, 1999). Enfin, une dernière catégorie de réseaux neuronaux est spatialement explicite : les réseaux de type auto-organisant (*Self Organizing Feature Map – SOFM*) tel que le réseau de Kohonen (Kohonen, 1990) (figure 31). « Les neurones de la couche de sortie possèdent des connexions avec les neurones voisins de façon à tenir compte de l'organisation spatiale pour améliorer la classification d'une image par exemple. Le poids des connexions d'un neurone est déterminé par les valeurs présentes en entrée, mais est pondéré par la prise en compte des valeurs des pixels voisins, c'est à dire par l'intégration de l'environnement ou voisinage de la cible » (Herault et Jutten, 1994).

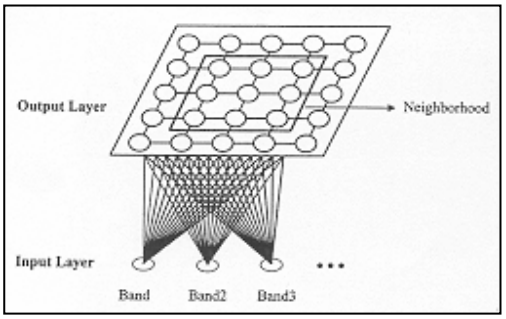


Figure 31. Exemple d'architecture du réseau monocouche auto-organisant de Kohonen (Source : Kohonen, 1990)

Les réseaux neuronaux présentent toutes les caractéristiques nécessaires pour réaliser des simulations dynamiques et spatialement explicites. Nous n'avons recensé qu'une seule étude utilisant les réseaux neuronaux pour réaliser des simulations dynamiques et spatialement explicites (Paegelow *et al.*, 2004). Les auteurs utilisent un perceptron multicouche, initialisé par une phase d'apprentissage, afin de résoudre les problèmes de probabilités d'appartenance d'un pixel à une classe d'occupation du sol.

En résumé, il existe trois grands types de modèles (les automates cellulaires, les SMA, les réseaux neuronaux) qui permettent de réaliser des simulations dynamiques et spatialement explicites. Ils possèdent chacun leurs avantages et leur limites, et leur choix doit avant tout dépendre de la problématique étudiée.

3.3. L'approche méthodologique de construction de scénarios prospectifs spatialisés

La construction de scénarios prospectifs spatialisés doit suivre une démarche méthodologique de prospective, au sein de laquelle des méthodes de modélisation des changements d'occupation et d'utilisation des sols seront mobilisées. Cette méthodologie peut se définir en quatre étapes :

1- La définition d'un territoire d'étude ayant des enjeux de gestion à moyen ou long terme. La résolution spatiale (taille des objets géographiques) devra être en cohérence

avec l'échelle à laquelle les processus d'évolution du paysage interviennent et l'étendu du territoire.

2- La construction de la « base » des scénarios qui s'articule en trois points :

- la détermination des trajectoires d'évolution du paysage étudié (évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols, des structures paysagères…),
- l'identification et la hiérarchisation des facteurs explicatifs des changements observés,
- la mise à plat du « système » et des processus d'évolution du territoire étudié.

3- L'élaboration de scénarios prospectifs spatialisés comprend la définition de scénarios prospectifs (choix des hypothèses à tester et d'un type de scénario adapté), et la spatialisation des scénarios prospectifs à l'aide d'une méthode adaptée.

4- L'évaluation des scénarios afin de mettre en évidence les connaissances qu'ils apportent aux acteurs concernés.

3.3.1. Le choix des sites d'étude

Dans le cas de la gestion de l'eau à moyen et long terme, l'échelle adaptée est bien évidemment le bassin versant. Par ailleurs, comme cela a été mis en évidence dans le premier chapitre, la gestion qualitative de l'eau nécessite de s'intéresser aux bassins versants d'ordre 1 ou 2 selon la typologie de Strahler, là où l'eau acquiert ses caractéristiques physico-chimiques. C'est donc aux échelles de la parcelle et du réseau bocager, influençant les quantités et les flux de polluants, que les enjeux de la gestion spatiale de l'eau nécessitent d'être éclairés. L'étendue spatiale à étudier n'est *a priori* pas limitée. Elle dépend avant tout du temps nécessaire à la création du jeu de données et des étendues gérées par les gestionnaires de l'eau.

3.3.2. La construction de la « base »

3.3.2.1. La détermination des trajectoires d'évolution

Le premier objectif de la détermination des trajectoires d'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols est de mettre en évidence le rythme, l'ampleur et l'échelle des changements de façon quantifiée (Petit *et al.*, 2001). Cette quantification peut notamment être très utile pour estimer l'évolution des rendements agricoles ou de la taille des surfaces urbanisées aux échelles nationales et/ou régionale, mais aussi pour nourrir des modèles de changement climatique à différentes échelles (Loveland *et al.*, 2005). De nombreuses études ont été réalisées pour quantifier ces changements (Griffith *et al.*, 2003-a et 2003-b) suivant des stratégies et des méthodes variées (Loveland *et al.*, 2002 ; Crews-Meyer, 2002 ; Stehman *et al.*, 2003 ; Gallant *et al.*, 2004), mais toutes issues de données de télédétection.

Il faut donc adapter les méthodes et les outils et données de télédétection à l'échelle de la zone d'étude et à la taille des objets géographiques étudiés. En effet, c'est à l'échelle locale, échelle à laquelle les processus d'évolution du paysage influencent la qualité de l'eau, que les trajectoires d'évolution des modes d'occupation et des structures paysagères doivent être déterminées. La photographie aérienne et l'imagerie satellitaire à haute résolution (SPOT HRV, HRVIR ou équivalent) ou aéroportée à très haute résolution (ex : CASI) sont les outils les plus adaptés pour détecter les types d'occupation des sols, le réseau bocager et les zones humides de fonds de vallées (Hubert-Moy, 2004 ; Corgne, 2004 ; Hubert-Moy *et al.*, 2003-a ; Cotonnec, 1998).

La reconstitution des trajectoires d'évolution est réalisée à l'aide d'une analyse multi-dates sur une longue période (supérieure à 20 ans). Elle peut aussi être réalisée à l'aide de données historiques plus ou moins anciennes (Petit and Lambin, 2002).

3.3.2.2. L'identification et la hiérarchisation des facteurs de changements

La détermination des trajectoires d'évolution du paysage du territoire étudié est essentielle pour comprendre les raisons qui expliquent les changements observés et ainsi déterminer les facteurs de changements passés et présents. Aujourd'hui, l'étude des causes, des processus et des conséquences des changements d'occupation et d'utilisation des sols est l'un des principaux domaines de recherche en écologie du paysage (Wu et Hobbs, 2002).

L'identification des facteurs de changements fait appel à un corpus de connaissances historiques, socio-économiques et bibliographiques considérables, et d'autant plus si la zone d'étude est vaste. Toutefois, elles permettent de mettre en avant les principaux éléments qui ont un rôle prépondérant dans les changements observés (Napton, 2005). Mais lorsque les changements sont plus subtils, notamment en domaine agricole, il est nécessaire également d'identifier les processus qui font évoluer le paysage.

Bürgi *et alii* (2004) proposent une procédure générale adaptée aux changements qui se produisent à des échelles fines (figure 32). Elle distingue trois phases : (1) la définition du système qui consiste à définir la zone d'étude, les éléments du paysage et la période d'étude, (2) l'analyse du système qui contient la détermination des trajectoires d'évolution des éléments du paysage[15], des acteurs et des institutions en présence et des facteurs de changements, (3) la synthèse qui correspond à la mise « mouvement » du système en établissant les relations de causalités existantes entre ces variables. Bien que générale, cette méthode fait la distinction entre facteurs de changements et processus d'évolution du paysage, les premiers engendrant les seconds. Ainsi, à travers la mise à plat du système territorial étudié, il est possible de déterminer les facteurs explicatifs mais aussi les processus qui font évoluer le paysage.

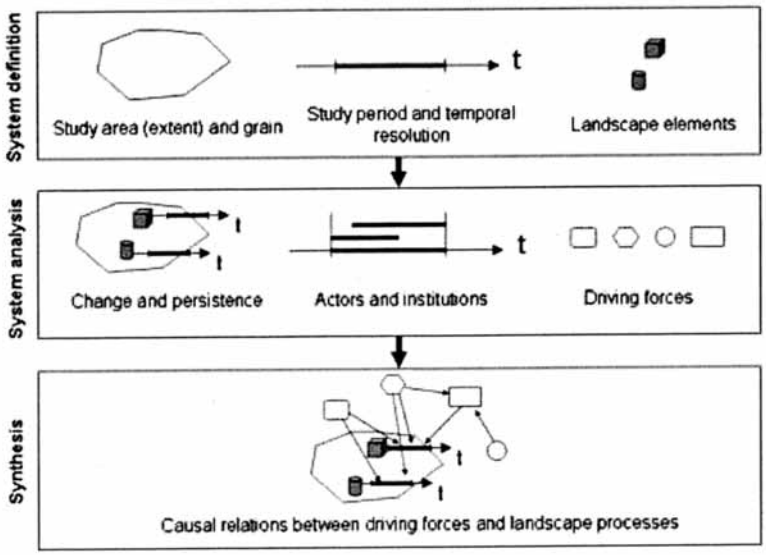


Figure 32. Procédure standard pour étudier les facteurs de changements d'un paysage (*in* Bürgi *et al.*, 2004)

[15] Jusqu'à ce point, nous nous situons dans la phase que nous avons intitulée « détermination des trajectoires d'évolution du paysage ».

L'ensemble de ces variables (éléments du paysage, type de changements d'usage des terres, acteurs et institutions et facteurs de changements) peut être représenté par des descripteurs qualitatifs et/ou quantitatifs qui permettront de déterminer le poids relatif de chacun d'eux. Cette étape reste toutefois délicate car elle nécessite de trouver le moyen de corréler des variables qualitatives et quantitatives qui, lorsqu'elles existent sous forme statistique, ne sont pas toujours restituées à des échelles spatiales identiques. A titre d'exemple, Lo and Yang (2002) ont utilisé des régressions et d'autres variables statistiques (coefficient de Pearson, test de signification, magnitude et direction de cette signification…) pour déterminer les facteurs explicatifs et leur poids respectif dans les changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols dans la région métropolitaine d'Atlanta. Enfin, à la fin de cette phase, certains facteurs potentiels de changements doivent être identifiés pour pouvoir élaborer des scénarios prospectifs spatialisés.

3.3.3. L'élaboration de scénarios prospectifs spatialisés

3.3.3.1. La définition de scénarios prospectifs

Les types de scénarios à mettre en place (normatifs ou exploratoires ? tendanciels ou contrastés ?...) doivent être adaptés d'une part aux hypothèses à tester et d'autre part aux objectifs que l'on souhaite donner aux scénarios. Les scénarios choisis se veulent ainsi le reflet d'une stratégie globale destinée à apporter suffisamment de connaissances pour éclairer, à long terme, les gestionnaires dans leur choix. Il est par conséquent envisageable de recourir à plusieurs types de scénarios qui apporteront des connaissances complémentaires.

3.3.3.2. La spatialisation des scénarios prospectifs

La spatialisation des scénarios requiert la mobilisation de méthodes adaptées, variables suivant le type de scénario et la façon dont le temps est pris e compte. Le type de scénarios détermine le type de modélisation spatiale à mettre en œuvre : dans le cas de scénarios exploratoires, la spatialisation des scénarios s'appuiera sur des modèles dynamiques ; dans le cas de scénarios de type *backcasting*, elle s'effectuera par la représentation spatiale d'états successifs d'un territoire.

3.3.4. L'évaluation des scénarios prospectifs et de leurs impacts

Afin d'illustrer concrètement la plus-value des scénarios prospectifs, il est nécessaire de d'évaluer leurs impacts sur le plan environnemental et l'apport qu'ils fournissent aux gestionnaires et décideurs locaux.

L'évaluation de l'impact des scénarios sur le plan environnemental s'inspire des travaux de Steinitz et Flaxmann (Flaxman *et al,* 1996 ; Steinitz, 1999 ; Flaxman et Steinitz, 2002 ; Steinitz *et al.*, 2003), de Nassauer et Corry (2004) et de Baker *et alii* (2004). Nous utiliserons pour cela des descripteurs environnementaux (Ruiz *et al.*, 2004) et des modèles de transfert de flux de sub-surface (Modèle Landbuf, Viaud, 2004) et de flux de surface (Ruicells – Langlois et Delahaye, 2002 ; Odissés – Bocher et Bedel, 2004). Ces modèles, décrits plus en détail dans la partie 3, permettront d'évaluer spatialement le risque de transferts de flux polluants. Nous utiliserons comme données d'entrée les cartes des modes d'occupation des sols et des structures paysagères issues des scénarios prospectifs.

L'évaluation de l'apport des scénarios prospectifs spatialisés aux gestionnaires et acteurs locaux consiste à évaluer leur utilité en tant qu'outil d'aide à la décision.

3.4. Conclusion partielle

La modélisation des changements d'occupation et d'utilisation des sols est confrontée aux problèmes de la modélisation de systèmes complexes, à savoir la modélisation de l'espace, du temps, des décisions humaines et de leurs interactions. Des approches méthodologiques plus ou moins complexes ont été développées pour modéliser l'évolution d'un territoire : la représentation spatiale d'états successifs, l'analyse systémique, les simulations dynamiques.

Ces approches peuvent contribuer à modéliser la complexité, raison d'être de la prospective, appliquée à des évolutions territorialisées. Cette contribution peut notamment se faire à différentes étapes de la réalisation de scénarios prospectifs : lors de l'élaboration de la base, lors de la construction des scénarios -en leur donnant une dimension spatiale-, et lors de leur évaluation.

La construction de scénarios prospectifs spatialisés repose donc sur une approche méthodologique de la prospective, « la méthode des scénarios » de Godet (1992), adaptée afin d'intégrer la dimension spatiale. La démarche méthodologique est synthétisée par la figure 33.

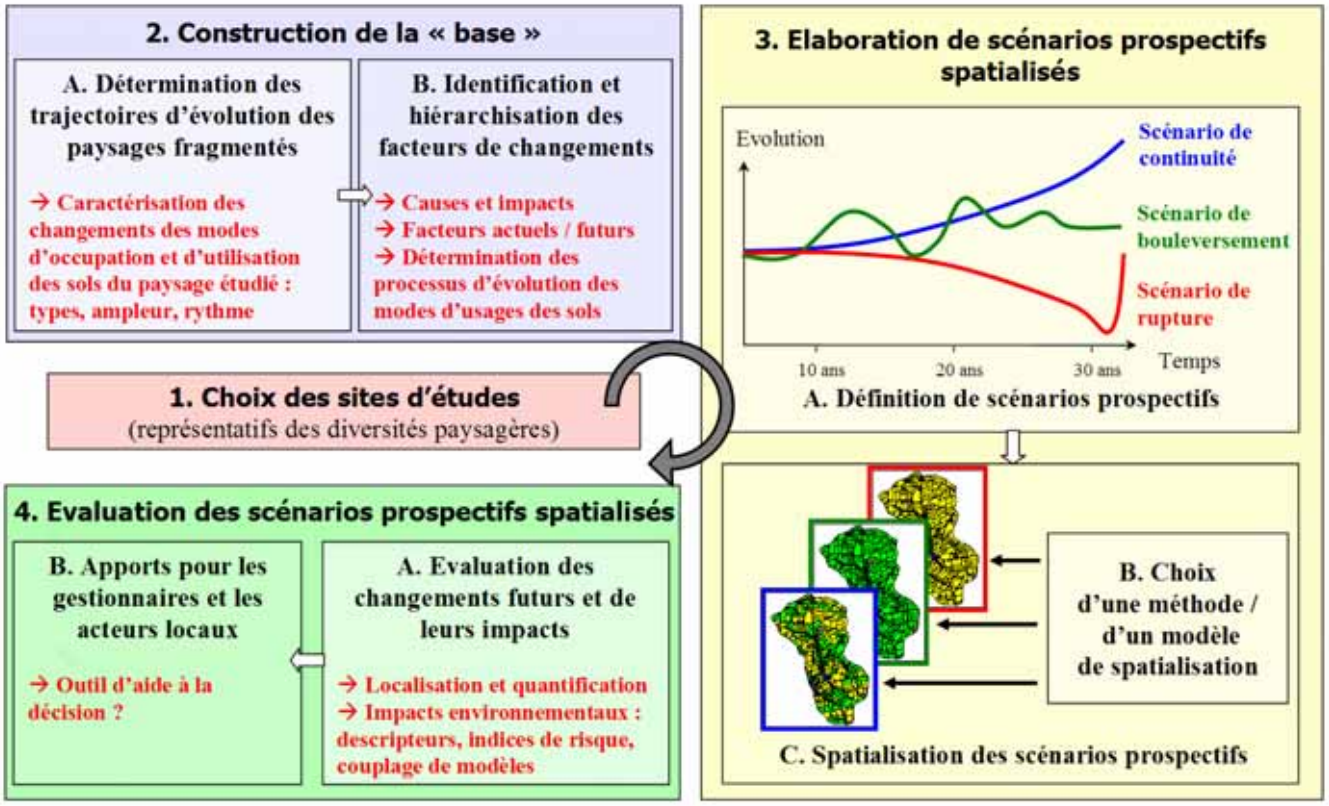


Figure 33. Schéma de synthèse de la démarche méthodologique d'élaboration de scénarios prospectifs spatialisés et évalués

Conclusion

La construction de scénarios prospectifs des modes d'occupation des sols et des structures paysagères à une échelle fine constitue un enjeu fort pour éclairer les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux dans leurs décisions. Les connaissances apportées par ce type de scénarios sur les évolutions possibles à moyen et long terme des paysages agricoles bocagers permettent d'envisager la mise en place de programmes de gestion de l'eau qui soient efficaces à l'échelle locale (échelle de la haie ou de la parcelle) et dans le temps (pratiques et aménagements aux effets durables).

La prise en compte du long terme en matière de gestion de l'eau est en phase d'émergence à l'échelle de grands bassins versants. Les Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) doivent en effet répondre aux exigences de la Directive Cadre Européenne 2000/60/CE, dite Directive Cadre sur l'Eau, imposant à l'horizon 2015 « le bon état écologique des masses d'eau naturelles et le bon état potentiel pour les masses d'eau artificielles et profondément modifiées ». La prise en compte du long terme à l'échelle locale est rare et encore moins représentée spatialement. Dans le contexte breton où la qualité des eaux est fortement dégradée, la production de scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale pourrait *a priori* constituer un outil précieux d'aide à la décision pour la mise en place de programmes d'action visant à une gestion de l'eau durable et efficace.

Si « la méthode des scénarios » de Godet (1992) constitue une approche méthodologique permettant d'explorer des horizons temporels lointains, les méthodes prospectives qui offrent la possibilité de représenter spatialement des images du futur à l'échelle locale sont beaucoup plus rares : les récits, parfois accompagnés de croquis, sont majoritairement employés pour décrire des configurations territoriales. Le recours à des méthodes plus ou moins complexes de modélisation des changements d'occupation et d'utilisation des sols semble alors indispensable.

Les trois premiers chapitres de la première partie ont permis de mettre en évidence les enjeux de la gestion spatiale de l'eau à long terme (Narcy, 2004), mais également d'élaborer une démarche méthodologique pour réaliser ce type de scénarios. Fondée sur la méthode des scénarios, cette démarche se caractérise par la prise en compte de la dimension spatiale des territoires étudiés tout au long de son déroulement. Trois étapes se différencient et sont détaillées dans les trois parties suivantes de cette thèse.

- La première étape, la deuxième partie de la thèse, consiste à construire la « base » des scénarios (détermination des trajectoires d'évolution du paysage étudié, identification et hiérarchisation des facteurs explicatifs des changements observés, « mise à plat » du système).

- La seconde étape, la troisième partie de la thèse, vise la définition des hypothèses de construction des scénarios prospectifs ainsi que la présentation des méthodes de spatialisation et d'évaluation des scénarios.

- La dernière étape, la quatrième partie de la thèse, a pour objectif de présenter les scénarios prospectifs spatialisés, leurs impacts sur le plan environnemental et leurs apports pour les gestionnaires et acteurs locaux.

PARTIE 2

LE BLAVET ET LA CONSTRUCTION DE LA « BASE » DES SCENARIOS :

DETERMINATION DES TRAJECTOIRES ET PROCESSUS D'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES A L'ECHELLE LOCALE

Introduction

La seconde partie de cette thèse est consacrée à la phase qui précède l'élaboration des scénarios prospectifs, phase appelée communément « la construction de la base ». Ses objectifs principaux sont de comprendre le fonctionnement du système agricole bocager et de déterminer les variables-clés qui ont joué, jouent et joueront directement ou indirectement un rôle sur la qualité de l'eau.

L'exercice prospectif de cette thèse porte sur des sites localisés sur le bassin versant du Blavet, l'Institution Interdépartementale du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du Blavet ayant engagé depuis 2003 une démarche prospective en lien avec la mise en application de la Directive Cadre Européenne sur l'eau. L'objectif poursuivi par l'Institution du SAGE Blavet est de disposer d'images différenciées du futur de ses territoires localisés pour une bonne partie en contexte agricole intensif, afin d'éclairer les choix à effectuer en matière de gestion de la ressource en eau.

L'institution du SAGE Blavet a engagé cette démarche prospective à deux échelles :

- A une échelle globale, celle de l'ensemble du bassin versant du Blavet, les scénarios prospectifs attendus portent sur la gestion de l'eau dans son ensemble. L'étude prospective à cette échelle a été confiée au bureau d'études AScA, le laboratoire COSTEL UMR CNRS 6554 LETG ayant été associé à cette étude pour traiter les volets relatifs à la cartographie et à l'analyse spatiale ;
- A une échelle locale, celle de sous bassins versants de l'ordre d'une dizaine de Km², les scénarios prospectifs ont pour objectif de représenter à l'échelle parcellaire des évolutions possibles des modes d'occupation des sols et des structures paysagères, afin d'évaluer leurs impacts sur les transferts de flux. Ce travail de thèse s'inscrit dans la démarche menée à l'échelle locale, en articulation avec la démarche engagée à l'échelle globale. En retour, ce travail est utilisé par le bureau d'études AScA au niveau de la démarche prospective globale, afin de prendre en compte des caractéristiques territoriales locales dans l'élaboration des scénarios réalisés sur l'ensemble du bassin versant du Blavet.

L'étude prospective menée à l'échelle locale sur le Blavet consiste tout d'abord à établir l'état diagnostique nécessaire à l'élaboration des scénarios d'évolution des structures paysagères et de l'utilisation des sols. Cet état diagnostique correspond à l'élaboration de ce que nous appelons « la base » des scénarios en prospective. D'une façon générale, cette dernière comprend la reconstitution des trajectoires d'évolution passées jusqu'à l'état actuel du système étudié, l'identification et la hiérarchisation des variables explicatives des changements observés, et la définition des enjeux prospectifs du système considéré.

Ainsi, cette seconde partie s'articule autour de quatre chapitres :

Le chapitre 4 vise à présenter le bassin versant du Blavet, son SAGE, ainsi que les sites d'étude sur lesquels la démarche prospective à l'échelle locale est appliquée.

Le chapitre 5 expose la méthodologie employée pour reconstituer les trajectoires d'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères sur les cinquante dernières années ainsi que les principaux résultats obtenus.

Le chapitre 6 aborde les facteurs explicatifs des changements passés et actuels observés dans le chapitre précédent suivant une méthodologie qui est préalablement présentée. Les facteurs de changements sont ensuite hiérarchisés d'un point de vue qualitatif et quantitatif.

Enfin, le dernier chapitre de cette partie, le chapitre 7, appréhende à partir des résultats obtenus dans les deux chapitres précédents et d'une réflexion sur les changements futurs, le fonctionnement du système « Paysage agricole bocager » afin d'identifier les variables qui influent et/ou influeront directement ou indirectement sur les changements des modes d'occupation/utilisation des sols et des structures paysagères et par conséquent sur la qualité de l'eau.

CHAPITRE 4 - Le contexte du Blavet et présentation des sites d'études

Ce travail prospectif à l'échelle locale s'inscrit dans le contexte particulier du SAGE du bassin versant du Blavet. Dans ce chapitre, les caractéristiques de ce bassin versant ainsi que les enjeux auxquels doit répondre le SAGE Blavet sont exposés dans un premier temps, tandis que les sites d'études choisis dans le cadre de ce travail sont présentés dans un deuxième temps.

4.1. Le bassin versant du Blavet et la mise en place du SAGE

D'une façon générale, les SAGE sont élaborés afin de répondre à plusieurs enjeux relatifs à la gestion de la ressource en eau. Ces enjeux sont définis en fonction du contexte physique, environnemental et humain dans lequel s'inscrivent les bassins versants sur lesquels ils s'appliquent. Dans cette partie, les caractéristiques du bassin versant du Blavet et les enjeux auxquels doit répondre son SAGE sont successivement présentés.

4.1.1. Le bassin versant du Blavet : une faible cohérence territoriale

Le bassin versant du Blavet, d'une superficie de 2130 km², est le second bassin versant de Bretagne par sa taille, après celui de la Vilaine, totalisant environ 7,7 % de la surface régionale. Sur ce bassin versant, situé en Bretagne Centrale, sur les départements des Côtes d'Armor et du Morbihan (figure 34), et qui comprend une population d'environ 200 000 habitants, les activités agricoles, structurées majoritairement par le secteur industriel agro-alimentaire, y occupent une place prédominante. La gestion de l'eau, sur ce territoire qui est représentatif d'une bonne partie de la diversité des paysages agricoles bretons et qui est marqué par une faible cohérence territoriale (Cotonnec et Dupont, 2004), représente depuis plusieurs années une préoccupation majeure.

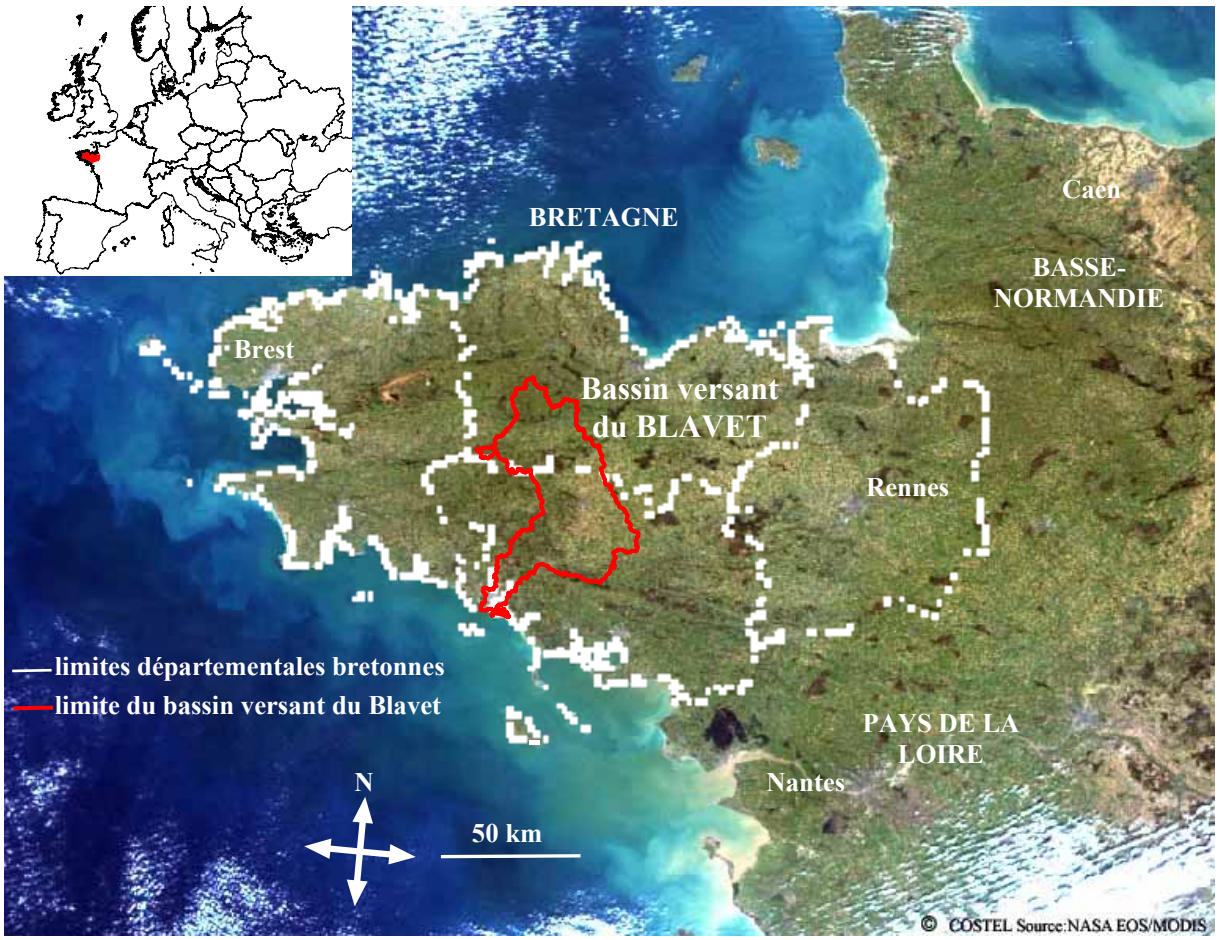


Figure 34. Localisation du bassin versant du Blavet

4.1.1.1. Une utilisation du sol essentiellement agricole…

L'agriculture et l'industrie agro-alimentaire qui l'accompagne structurent fortement le Blavet, tant sur le plan de l'occupation de l'espace que sur le plan de l'économie.

A l'échelle de la Bretagne, le bassin versant du Blavet représente 7.2% des exploitations agricoles et 7.7% de la SAU. Le nombre d'exploitations est légèrement inférieur à la moyenne régionale, la taille moyenne des exploitations du Blavet (36 ha) étant légèrement supérieure à celle des exploitations bretonnes (33 ha). En terme de production animale, le Blavet concentre 6.6% de l'effectif bovin régional, 4.5% de l'effectif porcin et 16.2% de la production avicole (SAGE Blavet, 2003-a).

Cette agriculture, basée pour une part importante sur l'élevage hors sol, a généré une Industrie Agro-Alimentaire (IAA) active sur le bassin versant, et tout particulièrement sur les secteurs où se situent les productions, en concomitance avec un réseau routier également bien développé. Ainsi, un peu plus de 120 entreprises employant près de 9000 salariés sont installées sur le bassin versant, représentant 81.1% des salariés des IAA des départements des Côtes d'Armor et du Morbihan. Elles sont en majorité situées sur les secteurs de Lorient (pour les produits de la mer), de Pontivy et surtout de Locminé (SAGE Blavet, 2003-b).

En conséquence, le bassin versant du Blavet est très largement dominé par une utilisation agricole des terres. Comme le montrent les données Corine Land Cover (figure 35), les surfaces agricoles occupaient plus de 80% du bassin versant en 2000.

Les principaux types de cultures présentes sur le Blavet sont les prairies temporaires et les prairies permanentes, le maïs fourrage, caractéristiques des élevages bovins. Ils occupent respectivement 29%, 10% et 13% de la SAU du Blavet. Les céréales (blé, maïs grain, semences, etc.) sont aussi très présentes (33% de la SAU). Elles se retrouvent dans l'ensemble des exploitations bretonnes, mais souvent dans des proportions plus fortes dans les exploitations pratiquant l'élevage hors-sol. Les légumes (légumes industriels, pommes de terre, etc.) sont aussi relativement bien présents (7% de la SAU). Ils sont cultivés préférentiellement dans le Morbihan, à proximité des IAA situées le long de l'axe routier Rennes-Lorient, près de Locminé (figure 35).

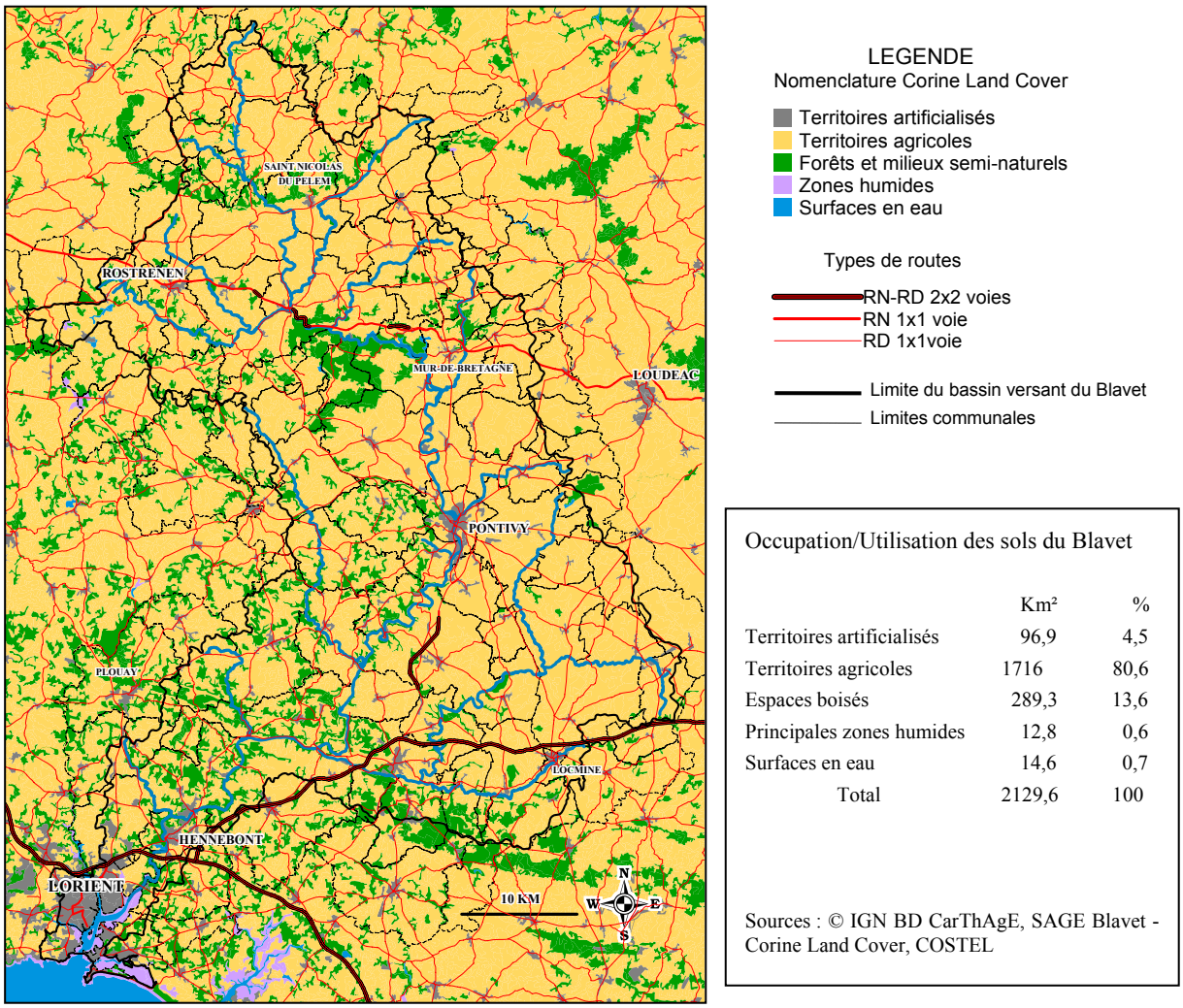


Figure 35. Les grandes catégories d'occupation et d'utilisation des sols sur le Blavet

Les espaces forestiers et les territoires artificialisés occupent respectivement 13,6% et 4,5% de la surface du bassin versant. Ces derniers comprennent principalement d'une part le réseau de communication, relativement dense sur le Blavet, les principales voies de communication (Quimper-Nantes ; Lorient-Rennes et Rennes-Brest par le Centre Bretagne) traversant plus le territoire du Blavet qu'elles ne le drainent, et d'autre part les zones urbaines. En ce qui concerne ces dernières on observe une grande disparité liée au fait que la population est très inégalement répartie sur le bassin versant : 10% de la population du Blavet occupe sa partie costarmoricaine, 90% sa partie morbihannaise. Les villes de Lorient et Lanester représentent à elles deux un peu plus de 30 % de l'ensemble de la population du bassin versant, et les 11 communes les plus en aval (y compris Lorient et Lanester), plus de 50%

(SAGE Blavet, 2003-b). Plus précisément, l'agglomération lorientaise (Lorient + Lanester) est la plus importante du bassin versant. Située à l'exutoire Blavet, elle comprenait un peu plus de 30% de la population du Blavet, soit plus de 61000 habitants en 1999 (INSEE, 1999). Les onze communes les plus en aval en regroupent plus de 50%. La ville de Pontivy, située dans la partie centrale totalise à peine plus de 13000 habitants.

Si globalement, le bassin versant est caractérisé par un paysage agricoles et des activités liées essentiellement aux IAA, le Blavet présente de fortes disparités internes tant au niveau des secteurs d'activités eux-mêmes, de la répartition de la population et des paysages.

4.1.1.2. … aux disparités internes

Au regard des données statistiques concernant les activités et la population (INSEE 1982 et 1999), des statistiques agricoles (ONIC, 1970, 1988 et 2000) et des données bibliographiques (Mahé *et al.*, 2000 ; Skol Uhel Ar Vro *et al.*, 1990 ; Le Rhun *et al.*, 1994), trois zones se distinguent au sein du Blavet sur le plan du milieu physique, de la démographie, des secteurs d'activités et des paysages (AScA, 2003) : l'amont, la partie médiane et l'aval (figure 36).

4.1.1.2.1. L'amont à l'image de la Bretagne Centrale

L'amont, qui correspond approximativement à la partie costarmoricaine du Blavet, est une zone peu attractive sur le plan socio-économique et du milieu physique. Le climat est marqué par une forte pluviométrie et les sols granitiques combinés à un relief marqué induisent de fortes contraintes agronomiques (figure 36). En contrepartie, cela lui confère le rôle de « château d'eau de la Bretagne ». L'absence de pôles urbains dynamiques contribue à limiter l'attractivité de la zone, la population étant attirée vers les bassins de Guingamp et de Saint-Brieuc pour les emplois et les services. Cette zone n'en possède pas moins une forte identité locale. La crise démographique actuelle (vieillissement de la population et solde démographique négatif) s'oppose avec le dynamisme du développement local dont témoignent les activités du GALCOB (Groupement d'Action Local du Centre Ouest Bretagne) depuis plusieurs années. L'agriculture est la principale activité de ce secteur. La production laitière domine largement, avec une diversification avicole en régression depuis les années 1990. Les paysages présentent de nombreuses zones humides et une forte densité bocagère, plus marquée dans le massif de Quintin, zone la plus septentrionale du Blavet (Cotonnec, 1996). Ces paysages constituent un atout touristique, comme en témoigne le nombre de résidences secondaires en constante progression.

4.1.1.2.2. La zone médiane : l'opposition Bassin de « Pontivy-Loudéac » et Centre Bretagne

Favorisée par une géologie moins contraignante (schistes et relief peu marqué) et une pluviométrie moins marquée (950mm à l'Est contre 1100mm à l'Ouest), la rive gauche du Blavet présente des paysages ouverts où les zones humides ont été largement drainées et où le bocage est résiduel (Cotonnec, 1996). Les activités de cette zone, articulées autour du bassin de Pontivy-Loudéac, sont totalement orientées vers une agriculture intensive. Il s'agit d'un secteur agro-industriel à l'image du « modèle agricole breton » décrit par Canévet (1992) : Si la production laitière est présente dans le bassin de Pontivy-Loudéac, c'est la production hors-sol (porc et volaille) qui prédomine (figure 36), la fraction herbagère étant plus faible que dans la partie amont (en 2000, le bassin de Pontivy-Loudéac possède en moyenne entre 2,5 et 5 ha de cultures pour 1 ha d'herbe alors que le ratio est de 1 dans la zone amont). La production agricole est largement dépendante des firmes agro-industrielles qui contrôlent les normes qualitatives et quantitatives de production et dont la localisation est structurée par les

principaux axes de communication (Rennes/Lorient et Lorient/Saint-Brieuc). *A contrario*, la rive droite du Blavet, située en Centre Bretagne, ressemble beaucoup à la zone amont (contexte granitique, relief marqué, paysage bocager). Elle se caractérise par une plus grande diversité des types de production et par conséquent, d'une fraction herbagère de l'ordre de 1,5 (1,5 ha de cultures pour 1 ha d'herbe).

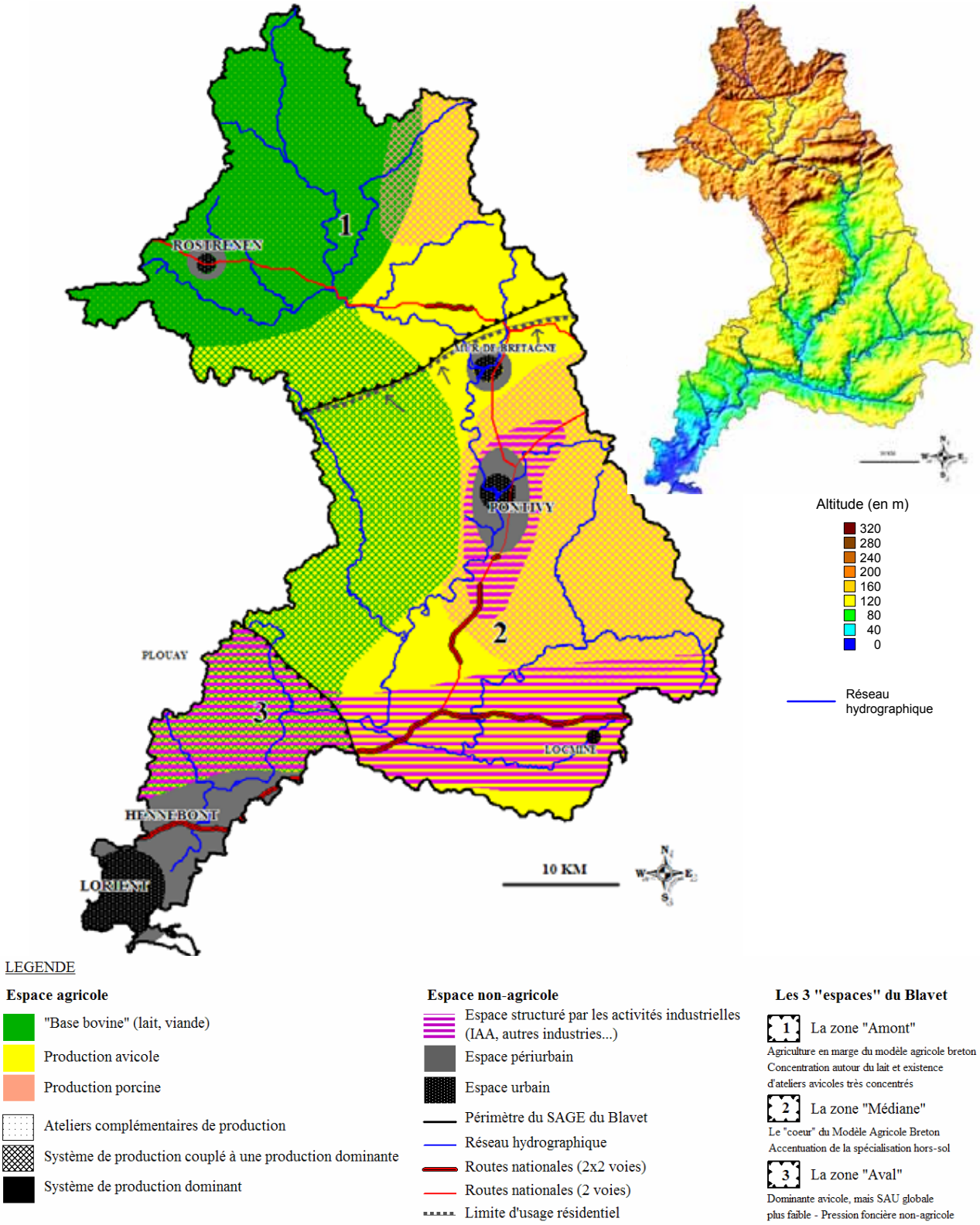


Figure 36. Topographie et disparités locales du bassin versant du Blavet en 2000

4.1.1.2.3. La zone aval : le bassin lorientais

La zone aval, qui s'étend de Plouay à Hennebont jusqu'à l'embouchure du Blavet (figure 36), est caractérisée par un climat littoral (plus d'ensoleillement, moins de précipitations, plus de douceur), un substrat varié (granite, gneiss, micaschistes… typiques du Plateau de Cornouaille) et des espaces forestiers plus marqués. Les activités agricoles ne sont pas dominantes, puisqu'il s'agit d'une zone principalement orientée vers des activités tertiaires. Correspondant à la « grande couronne » de Lorient, elle constitue la zone résidentielle de l'agglomération lorientaise. Elle concentre l'essentiel (plus de 50 %) de la population du bassin versant, de la croissance démographique et des emplois et témoigne d'une réelle diversification (emplois tertiaires, secondaires et primaires). L'activité agricole est dominée par la production bovine (lait et/ou viande) mais la production avicole est elle aussi marquée. Ainsi la fraction herbagère est comprise en moyenne entre 2 et 2,5 (2 à 2,5 ha de cultures pour 1 ha d'herbe).

4.1.1.3. Une qualité de l'eau variable au sein du bassin versant

La qualité de l'eau est variable au sein du bassin versant. D'une façon générale, une dichotomie amont/aval et rive droite / rive gauche est observée au niveau de plusieurs paramètres (nitrates, phosphore, pesticides).

Les classes et indices de qualité de l'eau dont il est question dans les paragraphes suivants sont réalisés par altération à partir du réseau de mesure SEQ-Eau des cours d'eau. Les données proviennent des bilans de la qualité des cours d'eau des départements des Côtes d'Armor (Aquascop, 2004-a) et du Morbihan (Aquascop, 2004-b) pour la période 2000-2002, complétées par les données de la période 1997-1999 (Aquascop, 2001-a et 2001-b) pour les cours d'eau non renseignés pour la période récente.

4.1.1.3.1. Les nitrates

Globalement, la concentration en nitrates est élevée sur l'ensemble du bassin versant. Toutefois, une légère distinction amont/aval s'observe (figure 37) : Les cours d'eau en amont du lac de Guerlédan sont en moyenne de qualité passable à mauvaise, tandis que les cours d'eau situés en aval sont en moyenne de qualité mauvaise à très mauvaise. Les cours d'eau de la rive gauche (l'Evel) présentent une qualité très mauvaise, se distinguant de la qualité mauvaise des cours d'eau de la rive droite (La Sarre).

4.1.1.3.2. Le phosphore

D'une façon générale, les taux de phosphore relevés dans les cours d'eau ne sont pas très élevés. Toutefois, la comparaison des données de 1997-1999 avec celles de la période 2000-2002 montre une légère dégradation de la qualité des cours d'eau principaux.

La zone amont se distingue de la zone aval avec une qualité en moyenne bonne, d'environ 0,2 $mg.l^{-1}$ en moyenne, contre une qualité passable en moyenne, inférieure à 0,5 $mg.l^{-1}$ (figure 38). La zone aval présente là encore une dichotomie rive droite / rive gauche : la Sarre présente une qualité bonne et l'Evel une qualité passable.

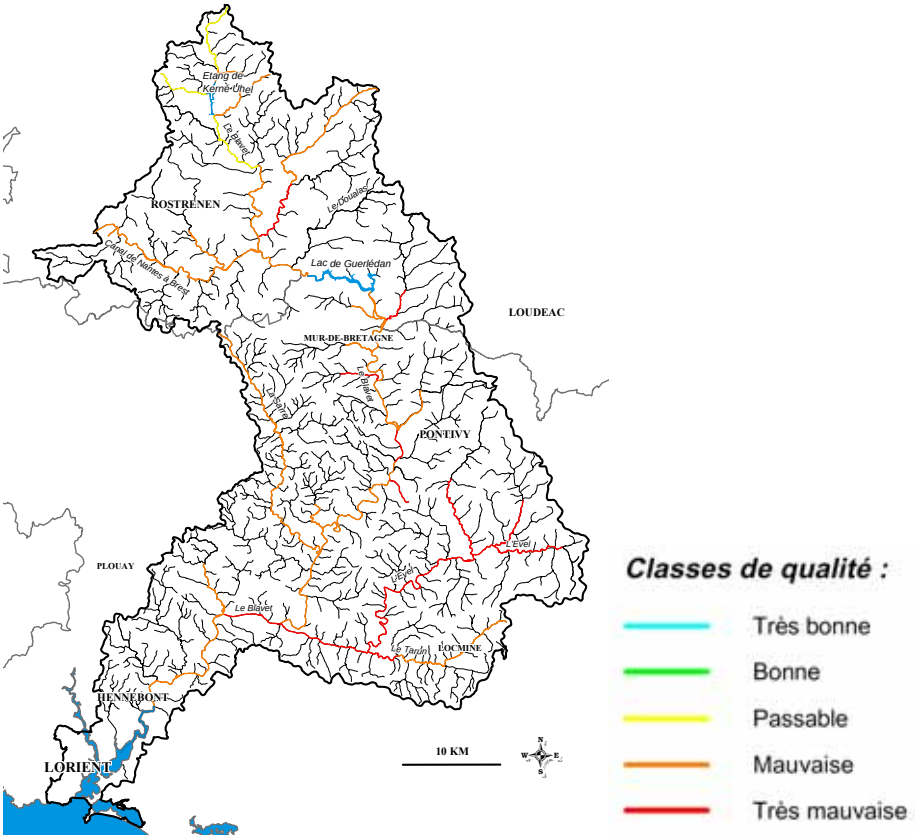


Figure 37. La qualité moyenne en nitrates des cours d'eau du Blavet entre 1997 et 2002 (sources Aquascop, 2001-a, 2001-b, 2004-a et 2004-b et © IGN BD CarThAgE)

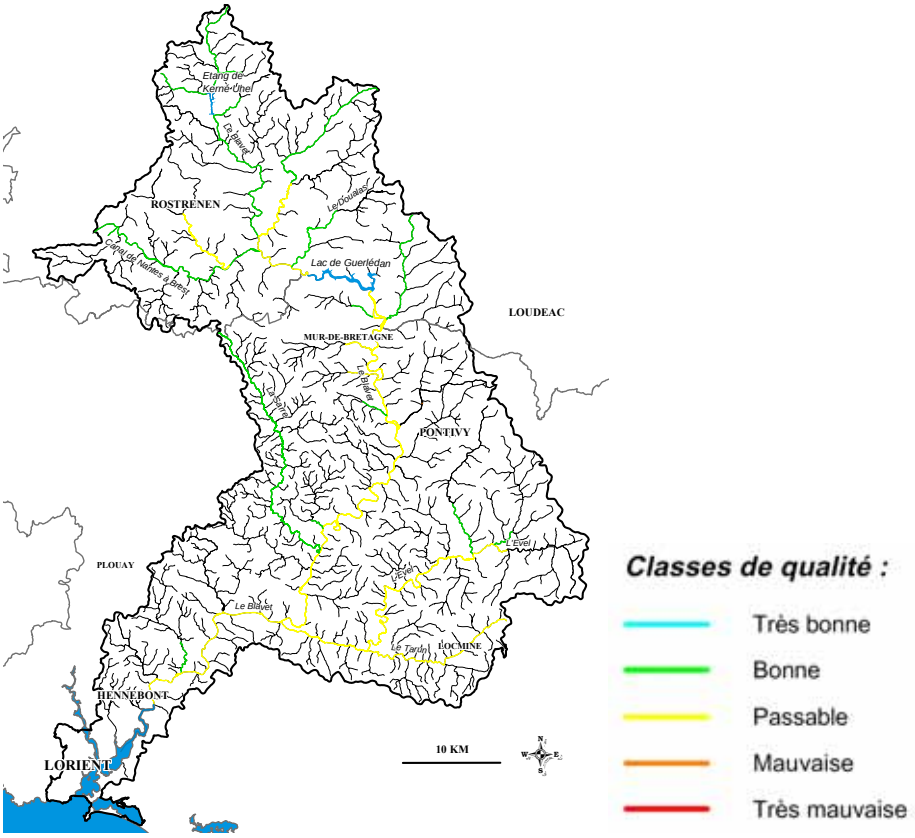


Figure 38. La qualité moyenne en phosphore des cours d'eau du Blavet entre 1997 et 2002 (sources Aquascop, 2001-a, 2001-b, 2004-a et 2004-b et © IGN BD CarThAgE)

4.1.1.3.3. Les pesticides

La pollution des eaux du Blavet par les pesticides est relativement faible, la qualité des cours d'eau étant qualifiée en moyenne de moyenne à très bonne (figure 39). Toutefois, la dichotomie amont / aval est encore très marquée, avec des eaux de bonne qualité en amont et de moyenne qualité en aval. Notons toutefois qu'il ne s'agit ici que de données moyennes qui lissent les pics de contamination, et ne traduisent pas correctement ce type de pollution. En l'occurrence, la fréquence de ces pics est plus marquée sur la rive gauche, sur l'Evel (Aquascop, 2001-b et 2004-b).

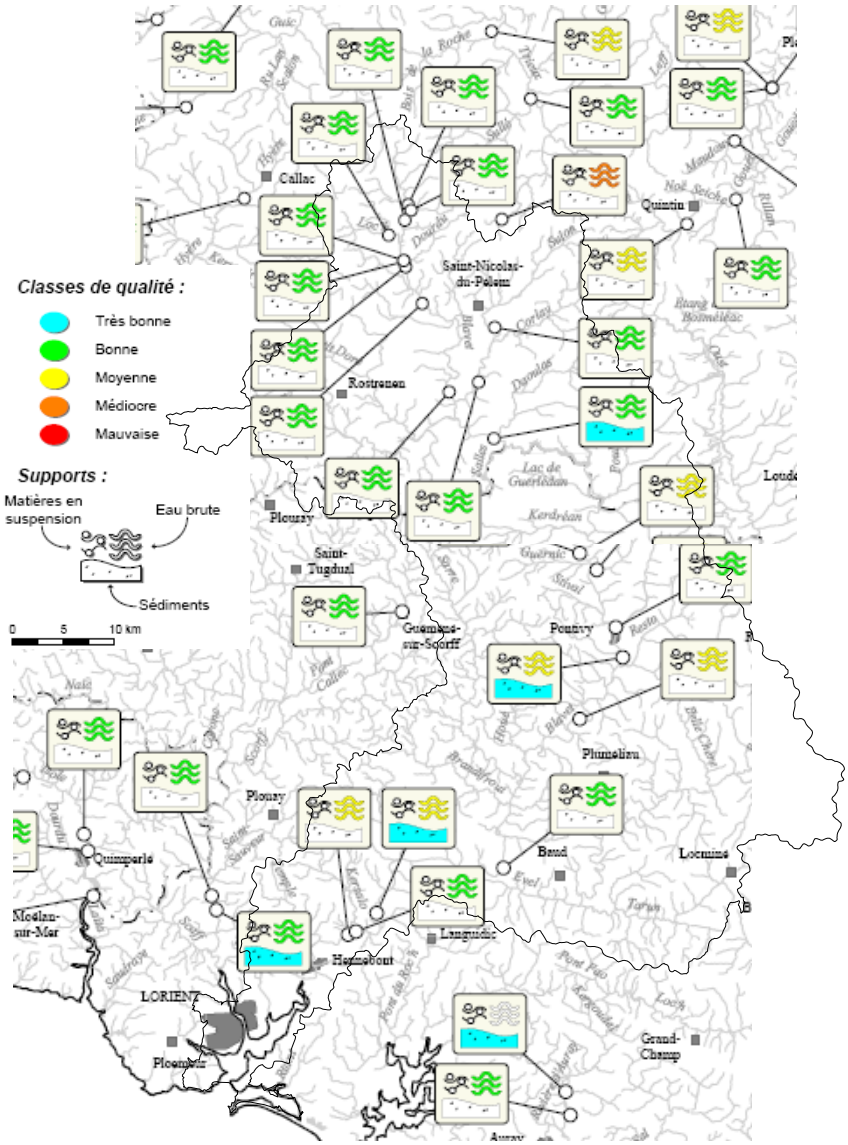


Figure 39. La qualité moyenne en pesticides des cours d'eau du Blavet entre 1997 et 2002 (sources Aquascop, 2004-a et 2004-b et © IGN BD CarThAgE). Les limites du bassin versant du Blavet ont été ajoutées en noir.

4.1.2. Un SAGE pour le Blavet

Le bassin versant du Blavet doit faire face à divers enjeux liés à la gestion de l'eau, tant sur le plan quantitatif -davantage qu'ailleurs dans la région-, que sur le plan qualitatif.

Ainsi, ce bassin versant est confronté à des enjeux de fonctionnement hydrologique : Le Blavet connaît des problèmes d'alimentation en eau en période d'étiage mais aussi d'inondation lors d'épisodes de crues, l'écoulement étant tributaire, en plus des conditions climatiques, de zones humides plus ou moins drainées et/ou artificialisées, de la canalisation du Blavet dans sa partie aval, et de nombreuses voies navigables (canal de Nantes à Brest) en partie déclassées (SAGE Blavet, 2003-b).

A l'image de l'ensemble de la Bretagne, face à divers problèmes de pollution, notamment d'origine agricole, le bassin versant du Blavet est confronté à la nécessité d'assurer et de sécuriser son Alimentation en Eau Potable (AEP) sur le long terme. Au regard de la qualité actuelle des eaux vis-à-vis de plusieurs paramètres et de son évolution depuis les trois dernières décennies, la préservation, voire la reconquête de la qualité de l'eau dans certains secteurs du bassin versant, constitue un enjeu important et un des objectifs prioritaires du SAGE.

Ce bassin versant doit également faire face à divers enjeux écologiques liés à la gestion de l'eau tels que le maintien ou la restauration voire la réhabilitation de zones humides, le classement des affluents du Blavet en masses d'eau naturelles. Or la gestion tant hydrologique (aménagements, gestion des flux) qu'écologique (restauration et entretien des milieux) nécessite des arbitrages pour concilier des usages variés et parfois contradictoires, comme la navigation et la pêche. A titre d'exemple, la gestion du barrage de Guerlédan, qui alimente en eau le bassin versant du Blavet ainsi que la barrage de Kerné Uhel, doit répondre à des exigences multi-usages (production d'électricité -EDF étant gestionnaire de cet ouvrage-, alimentation en eau, tourisme, gestion des crues, soutien d'étiage…). Cet exemple illustre la complexité de la gestion de l'eau sur ce bassin versant.

Les enjeux de gestion des hydrosystèmes s'inscrivent souvent dans un contexte territorial contrasté, source de synergies, de complémentarités mais aussi de conflits et de tensions. Le bassin versant du Blavet voit coexister des territoires urbains, avec à son exutoire l'agglomération de Lorient, et des territoires ruraux, marqués par une activité agricole dominante et parfois touchés, en amont, par la problématique de dévitalisation du tissu rural. Ces contrastes amont / aval et urbain / rural rejaillissent sur les enjeux de gestion cités plus haut à travers : une inégale répartition des besoins et des usages (AEP, activités économiques utilisatrices…) ainsi que des pressions sur la ressource (pollutions, prélèvements) ; la diversité, selon les lieux, des demandes sociales et des actions de développement local à l'égard des milieux aquatiques (activités productives, développement du tourisme vert…) (AScA, 2003).

La complexité de la gestion de l'eau sur le bassin versant du Blavet explique que les collectivités territoriales (Région, conseils généraux, communes), appuyées par l'administration déconcentrée de l'Etat et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne, aient décidé, au cours des années 1990, de se lancer dans l'élaboration d'un SAGE, afin de définir collectivement, avec les divers acteurs du bassin versant, des objectifs de gestion inscrits dans une stratégie globale et cohérente. En gestation dès 1996, ce projet s'est concrétisé à travers l'arrêté de périmètre en 1998 et l'institution de la Commission Locale de l'Eau (CLE) en 1999.

L'adoption de la Directive Cadre Européenne sur l'eau (DCE) du 23 octobre 2000 n'a pas été sans conséquences sur l'élaboration des SAGE. En effet, l'application de la DCE à la politique de l'eau française s'est traduite par le passage d'une logique d'obligation de moyens

à une logique d'obligation de résultats. Ainsi, l'accent est davantage mis sur les objectifs à atteindre : le bon état écologique des masses d'eau naturelles et le bon état potentiel pour les masses d'eau artificielles et profondément modifiées. La DCE impose ainsi aux acteurs de l'eau de se fixer des objectifs en référence à ces bons états de la ressource en eau. Comme cela a été souligné dans le chapitre 1, il y a là une convergence d'esprit avec la procédure des SAGE. La convergence entre DCE et SAGE renforce aussi l'exigence de transparence, de participation des différents acteurs impliqués et d'information dans le cadre de la procédure d'élaboration des SAGE et de leur application

Mais le SAGE a également vocation à couvrir d'autres thèmes tels que le développement local ou l'aménagement du territoire qui devront dès lors s'articuler avec ce socle d'exigences.

Afin de répondre aux différents enjeux relatifs à la gestion de la ressource en eau, les SAGE ont été dotés d'un volet prospectif. L'objectif de la démarche prospective des SAGE est de prendre en considération l'ensemble des disparités locales et les différents enjeux de gestion de la ressource en eau et des milieux aquatiques dans une réflexion stratégique inscrite dans le long terme.

Dans le cadre du SAGE Blavet, la démarche prospective est menée à deux échelles, en raison des disparités internes observées sur le bassin versant : L'étude prospective menée à l'échelle du Blavet dans son ensemble traite de la gestion qualitative et quantitative des hydrosystèmes (AEP, qualité de l'eau, navigation, pêche, gestion des débits, etc.) ; L'étude menée à l'échelle locale vise à mettre en lumière et expliciter de manière précise les évolutions possibles des territoires agricoles (occupations des sols, structures paysagères) et leurs impacts sur la qualité de l'eau. La prospective menée à l'échelle locale est articulée avec la démarche engagée à l'échelle globale : ainsi, l'étude menée à l'échelle globale permet d'inscrire les enjeux prospectifs relatifs à la qualité de l'eau sur de petits territoires dans un cadre plus large aux enjeux multiples, tandis que les caractéristiques territoriales locales sont prises en compte dans l'élaboration des scénarios réalisés sur l'ensemble du bassin versant du Blavet.

Au niveau de l'étude prospective menée à l'échelle locale qui est l'objet de ces recherches, trois sites d'études représentatifs des diversités de paysages agricoles au sein du Blavet, appartenant à chacune des trois zones différenciées précédemment, ont été choisis.

4.2. Les sites d'étude

Le choix des sites d'étude, réalisé de façon concertée avec l'institution du SAGE Blavet, a été effectué de façon à :

- représenter au mieux la diversité des structures paysagères et des modes d'occupation des sols de l'ensemble du bassin versant du Blavet ;
- retenir des bassins versants d'ordre 1 ou 2, ces bassins versants occupant une position stratégique vis-à-vis des transferts de flux d'eau et de polluants ;
- assurer la représentativité des principales entités décisionnelles concernées par la mise en place du SAGE Blavet (Conseils Généraux des Côtes d'Armor -22- et du Morbihan -56-) ;
- s'appuyer sur des sites où des données et des suivis à l'échelle locale existent déjà ;

La figure 40 localise les trois sites choisis en concertation avec l'Institution du SAGE Blavet. Les bassins versants retenus sont les suivants :

- Le bassin versant du Coët-Dan, situé dans la partie médiane du bassin versant sur la commune de Naizin (56), suivi par l'INRA et le CEMAGREF depuis plus de quinze ans;
- Le bassin versant du Lestolet situé sur la commune de Kerien (22), sur la partie amont du Blavet est l'un des bassins versants du programme BEP 2 (Bretagne Eau Pure 2);
- Le bassin versant du Stang Varric (56), situé sur la partie aval du bassin versant du Blavet à proximité de la ville de Lorient.

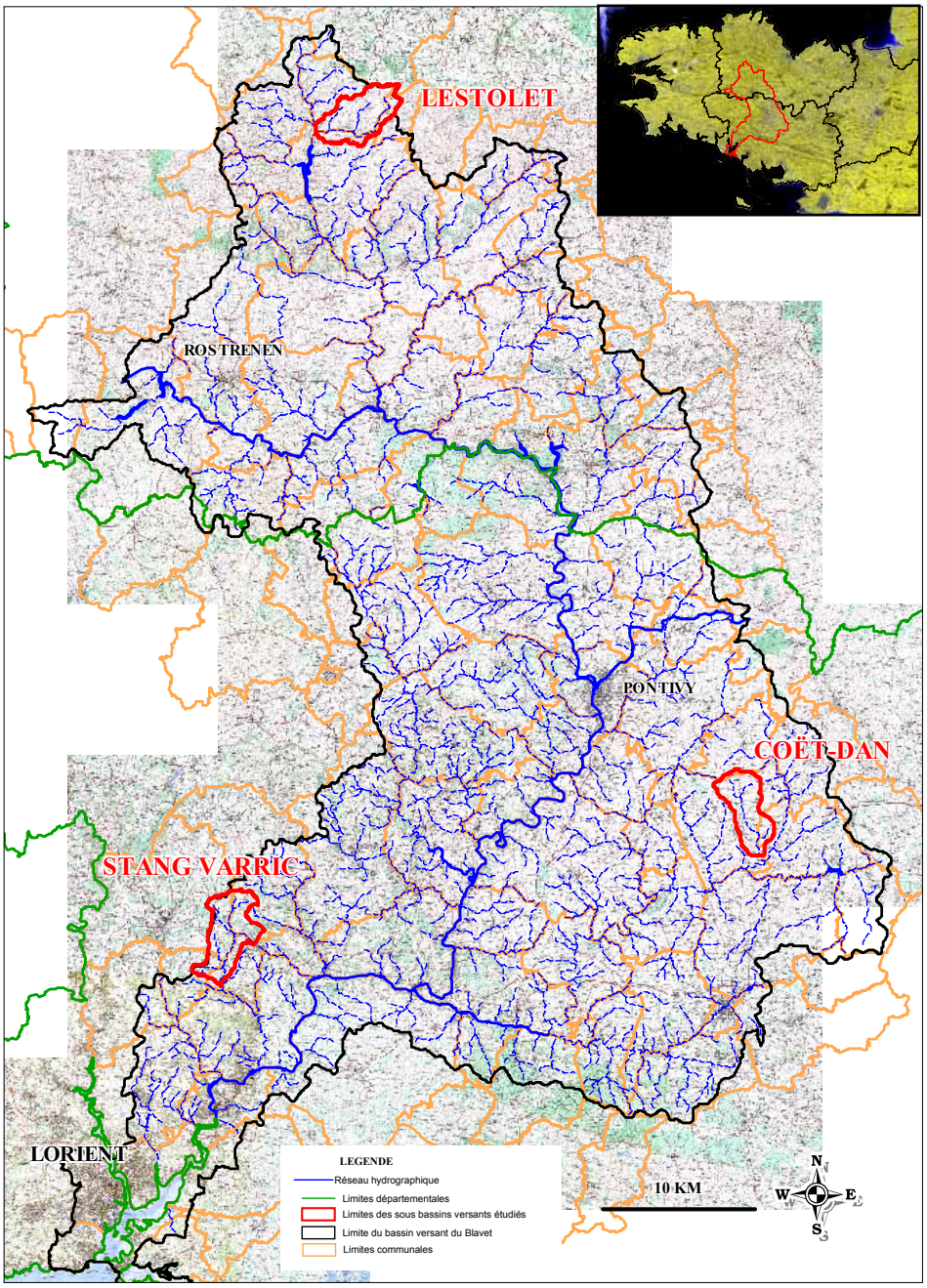


Figure 40. Localisation des sites d'études

4.2.1. Le bassin versant du Lestolet

D'une superficie de 1320 ha, le bassin versant du Lestolet est situé dans le département des Côtes d'Armor. Les trois-quarts de sa superficie sont localisés sur le territoire de la commune de Kerien, le sud du bassin versant se situant quant à lui sur la commune de Lanrivain, et l'est sur la commune de Magoar.

Au cœur du massif granitique de Quintin, il présente une topographie assez vallonnée, avec des altitudes comprises entre 219 et 306 m (figure 41). Il est caractérisé par un paysage bocager bien marqué ; la pluviométrie moyenne annuelle y est légèrement inférieure à 1100 mm.

Ce bassin versant constitue un sous bassin versant du bassin versant du Haut-Blavet faisant l'objet d'un programme de reconquête de la qualité de l'eau (Bretagne Eau Pure) et dont la maîtrise d'œuvre est assurée par le syndicat mixte de Kerné Uhel.

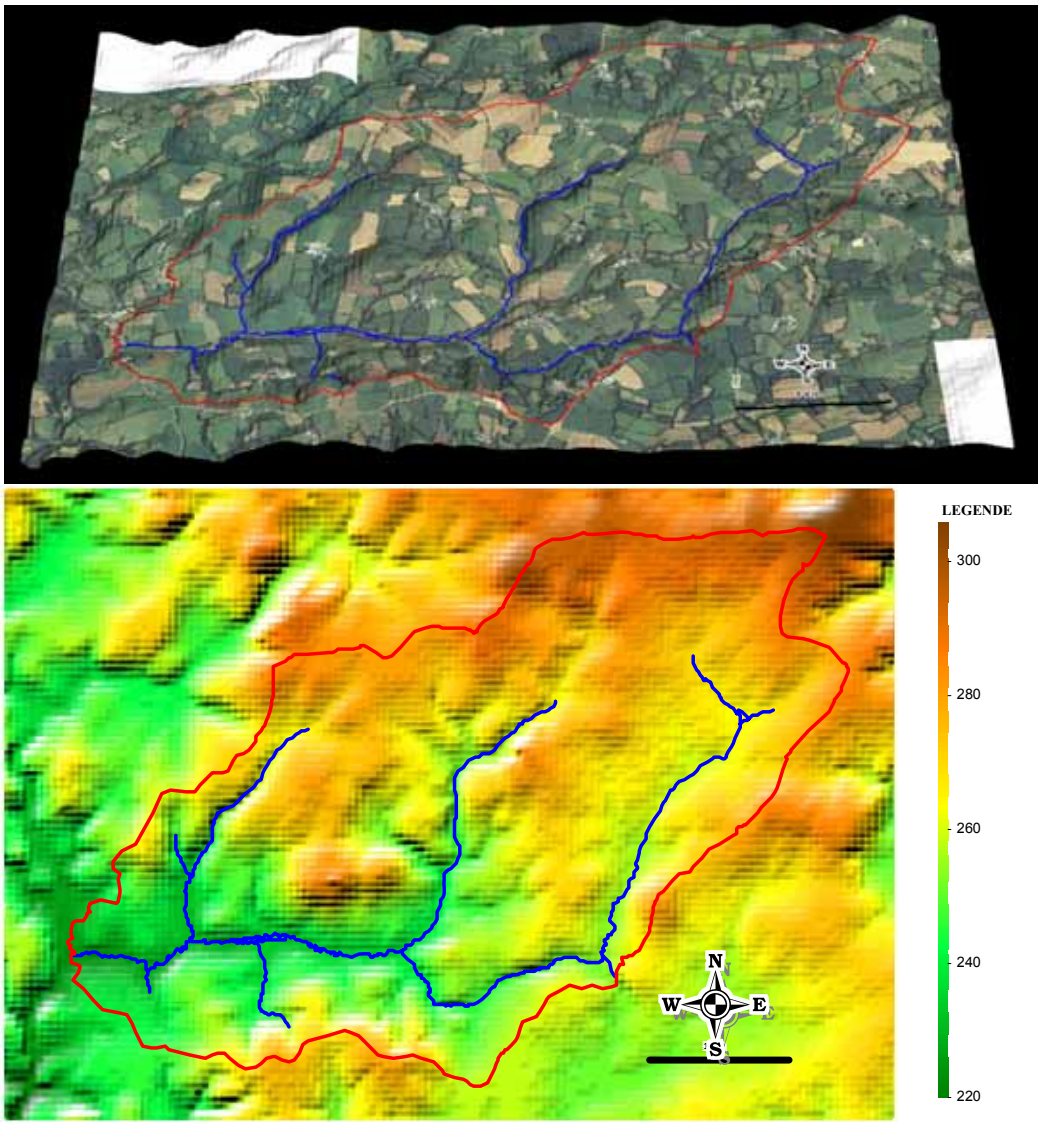
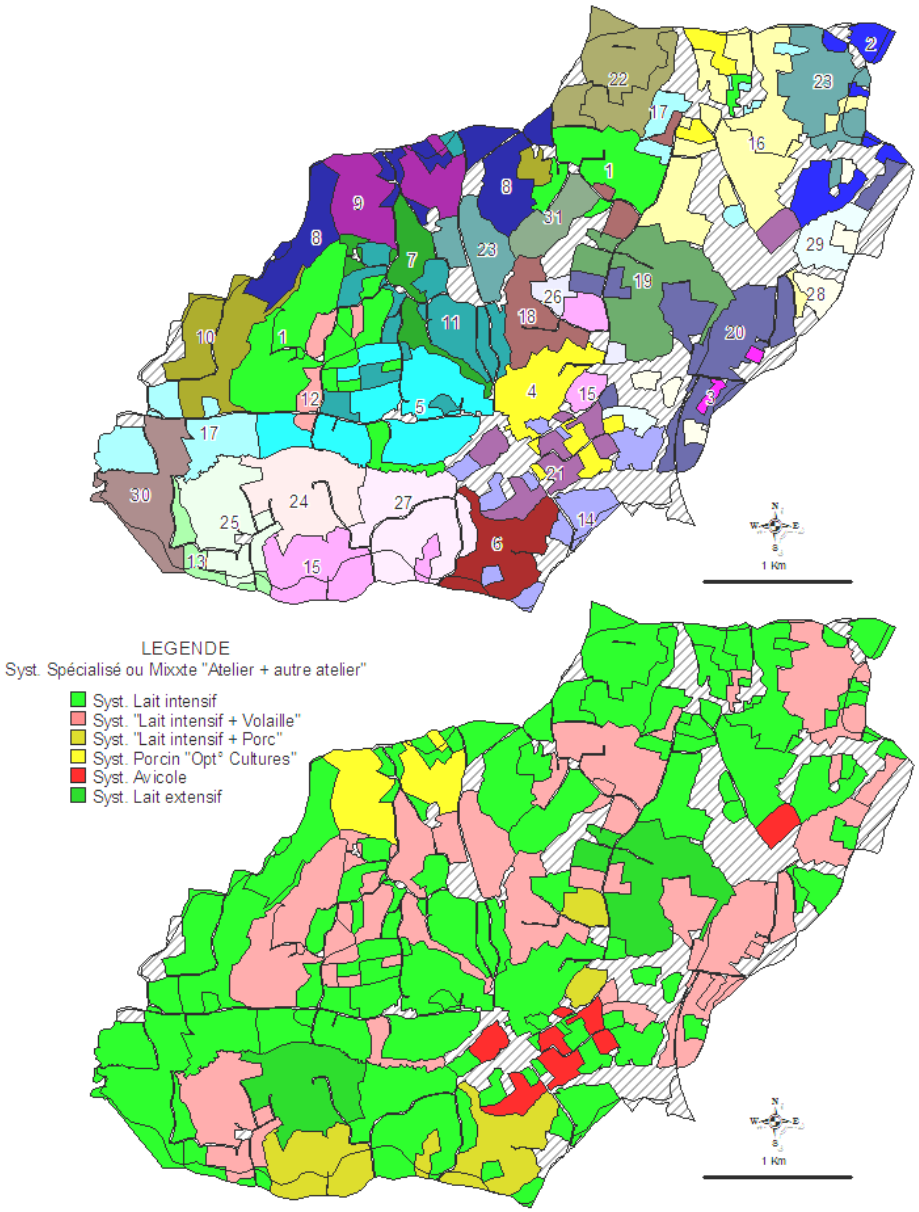


Figure 41. Paysage et topographie du bassin versant du Lestolet (en bleu : réseau hydrographique ; en rouge : limite du bassin versant ; altitude en mètres ; sources : BD Ortho et BD Alti © IGN, SAGE Blavet)

La production laitière est largement dominante, accompagnée d'une production hors-sol (volaille, porcs) moindre. Cela se traduit par l'omniprésence d'exploitations spécialisées dans la production laitières et mixtes « lait+volailles » et « lait+porcs » (figure 42). Sur les 31 exploitations entièrement ou partiellement incluses dans le bassin versant[16], 19 sont des exploitations laitières spécialisées (49.6% du bassin versant), 10 sont des exploitations mixte avec pour atelier principal la production laitière (26.3% du bassin versant). Les 2 exploitations restantes sont spécialisées respectivement dans la production avicole et porcine et représentent 4.6% du bassin versant. Les parcelles agricoles pour lesquelles l'exploitant n'a pas été identifié représentent 7.9% du bassin versant. La surface non agricole totalise près de 11.5%.



Les numéros correspondent à un identifiant assigné à chaque exploitation. En hachures apparaissent les zones pour lesquelles les exploitants n'ont pas été identifiées ou ne correspondant pas à de la SAU.

Figure 42. Localisation des exploitations agricoles et de leur système de production du bassin versant du Lestolet en 1998

[16] Le Lestolet totalise 1385 ha lorsque l'on comptabilise les parcelles partiellement incluses dans le bassin versant.

Les exploitations font entre 40 et 60 ha de taille en moyenne avec des disparités entre petites (20-40 ha) et grandes exploitations (> 80-100 ha). Leur parcellaire est relativement groupé et/ou avec des grands îlots dispersés. La moyenne d'âge des exploitants de 45 ans en moyenne. Un tiers d'entre eux ont moins de 40 ans. Les données proviennent du SMKU et de la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor et d'enquêtes réalisées sur le terrain en 2003 et 2005 (Geslot, 2005). Les cantons de Kerien et de Lanrivain dans lesquels le bassin versant du Lestolet s'inscrit sont situés en ZES (Zone d'Excédent Structurel).

4.2.2. Le bassin versant du Coët-Dan

La superficie de ce bassin versant, localisé dans le département du Morbihan à une quinzaine de kilomètres au sud-est de Pontivy, est légèrement supérieure à 1200 ha. La majeure partie de son territoire est située sur la commune de Naizin, le quart sud-est appartenant à la commune de Reguiny.

Sa topographie, inscrite dans un contexte géologique schisteux, est moins élevée que celle du bassin versant du Lestolet, l'altitude moyenne étant de 110 m. Elle aussi beaucoup plus plane, 70% des pentes n'excédant pas les 5%. Le paysage agraire de ce bassin versant est très ouvert (figure 43). La pluviométrie moyenne annuelle avoisine les 900 mm.

Ce bassin versant constitue un site de recherches depuis 1973. Il a été choisi comme site expérimental en 1991 pour le programme CORMORAN (Caractérisation ObseRvation MOdélisation des tRansferts en milieu Agricole armoricaiN), et en 1993 pour le GDR (Groupement de Recherche) Agriculture-Environnement (CNRS-INRA). Il fait actuellement partie des sites de la Zone Atelier « Bretagne Continentale » du PEVS (Programme Environnement Vie Société du CNRS) et a été labellisé ORE (Observatoire de Recherches en Environnement) en 2003 par le Ministère de la Recherche.

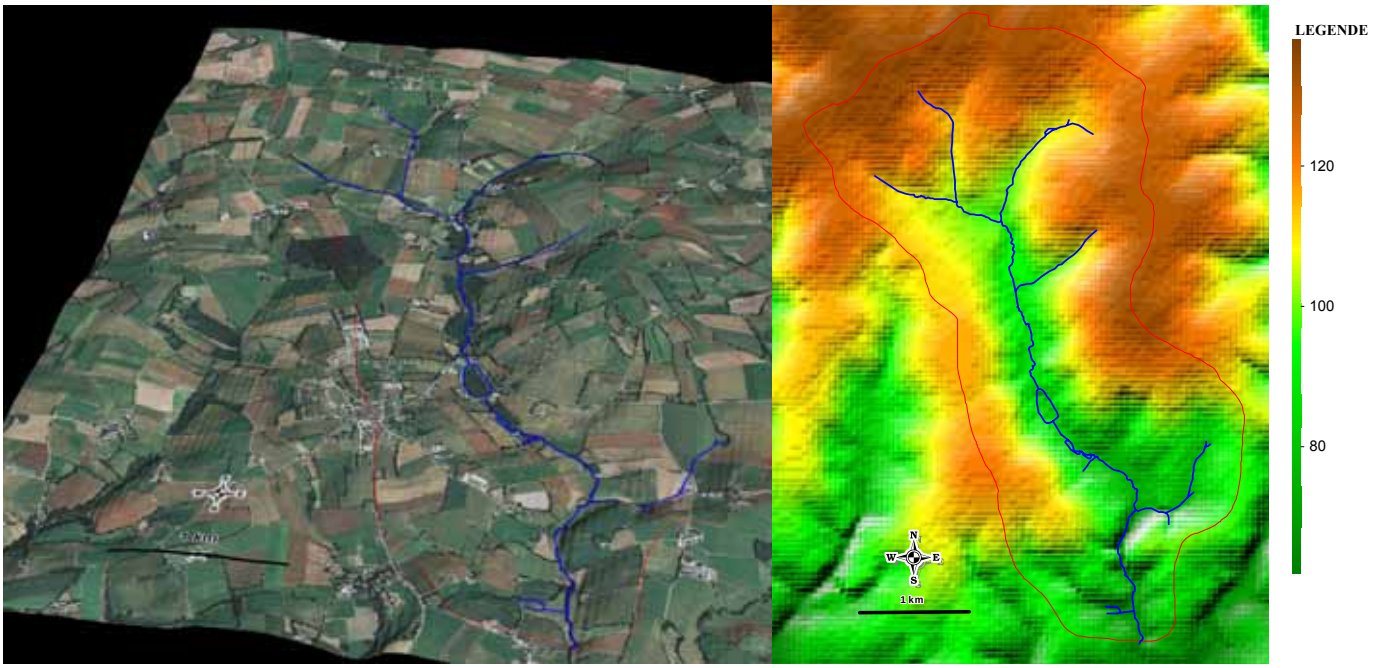
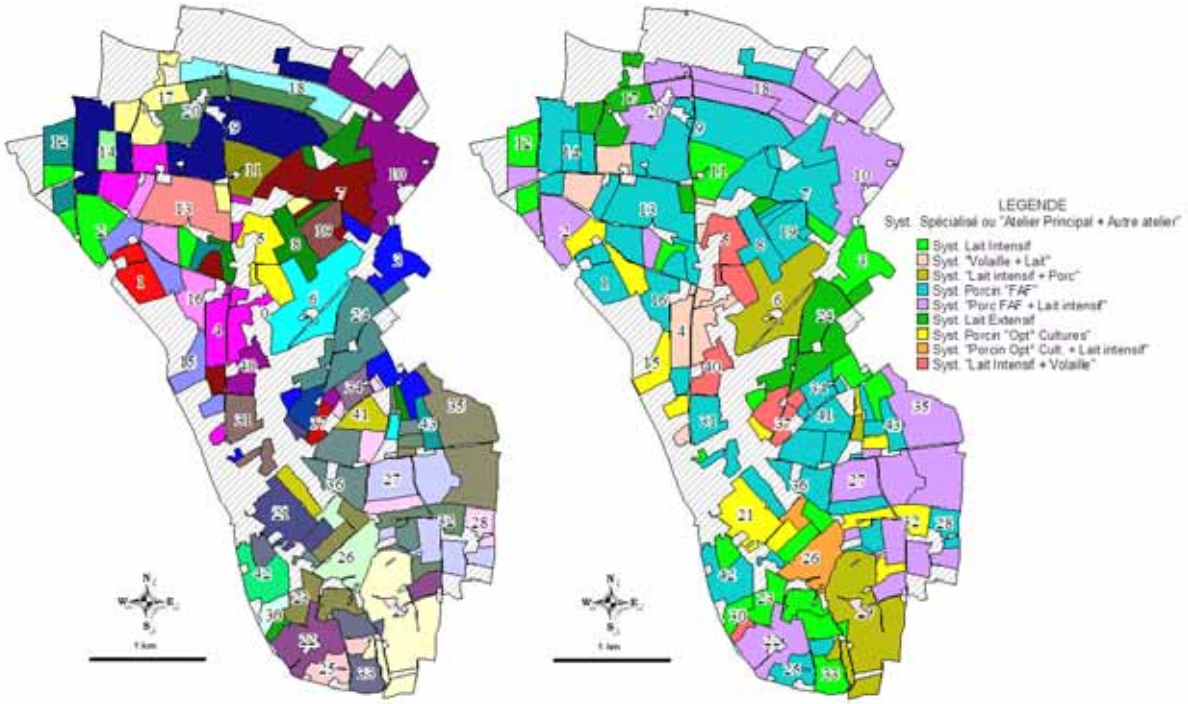


Figure 43. Paysage et topographie du bassin versant du Coët-Dan (en bleu : réseau hydrographique ; en rouge : limite du bassin versant ; altitude en mètres ; sources : BD Ortho et BD Alti © IGN, SAGE Blavet)

Ce site est représentatif du « modèle agricole breton », avec des exploitations de type polycultures/élevage présentant une production très intensive. Il y a majoritairement des exploitations spécialisées en lait ou porcs et mixtes lait+porcs, parfois complétées d'un atelier de production supplémentaire (volaille, légume industriel, …). Elles font entre 40 et 60 ha de taille en moyenne, avec un parcellaire souvent morcelé. Les exploitants sont relativement jeunes : 40 ans en moyenne, dont la majorité ont entre 31 et 40 ans (Menasseri, 2004). La figure 44 présente les exploitations recensées sur le Coët-Dan ainsi que leur système de production. Ces données proviennent d'enquêtes réalisées sur le terrain en 2001 (Houet, 2002), 2004 (Menasseri, 2004) et 2005 (Geslot, 2005).



Les numéros correspondent à un identifiant assigné à chaque exploitation. En hachures apparaissent les zones pour lesquelles les exploitants n'ont pas été identifiées ou ne correspondant pas à de la SAU. « FAF » : Fabrication d'Aliments à la Ferme

Figure 44. Localisation des exploitations agricoles et de leur système de production du bassin versant du Coët-Dan en 2005

Les productions porcine et laitière sont omniprésentes sur le bassin versant[17]. Sur les 43 exploitations entièrement ou partiellement incluses dans le bassin versant, 19 sont des exploitations porcines spécialisées (45% du bassin versant), 8 sont des exploitations laitières spécialisées (9% du bassin versant), 10 ont un atelier laitier et un atelier porcin (22% du bassin versant) et 6 ont un atelier laitier et un atelier avicole (6% du bassin versant). Les parcelles agricoles dont l'exploitant n'a pas été identifié représentent 10% du bassin versant. La surface non agricole totalise 11%. Le canton de Naizin est en ZES.

4.2.3. Le bassin versant du Stang Varric

Situé à une quelques dizaines de kilomètres au nord de Lorient et à une dizaine de kilomètres à l'est de la limite occidentale du département du Morbihan, ce bassin versant

[17] La surface du Coët-Dan, lorsque l'on tient compte de la totalité des parcelles partiellement incluse dans le bassin versant, totalise une superficie de 1410 ha.

totalise une superficie de 1500 ha chevauchant quatre communes : Lanvaudan, Plouay, Inguiniel et Calan.

Sur le plan topographique, une nette dichotomie apparaît sur la figure 45 : la partie nord du bassin versant a une altitude moyenne de 150 m et des vallées très encaissées alors que sa partie sud correspond à une surface plane peu accidentée d'une altitude moyenne de 80 m. La pluviométrie moyenne annuelle est proche de 1050 mm.

Le plateau au nord est sur un socle granitique (Plateau de Cornouaille), aux vallées fortement boisées. Il s'inscrit dans la continuité des landes de Lanvaux. Le paysage se compose à la fois de champs ouverts et d'importantes surfaces boisées.

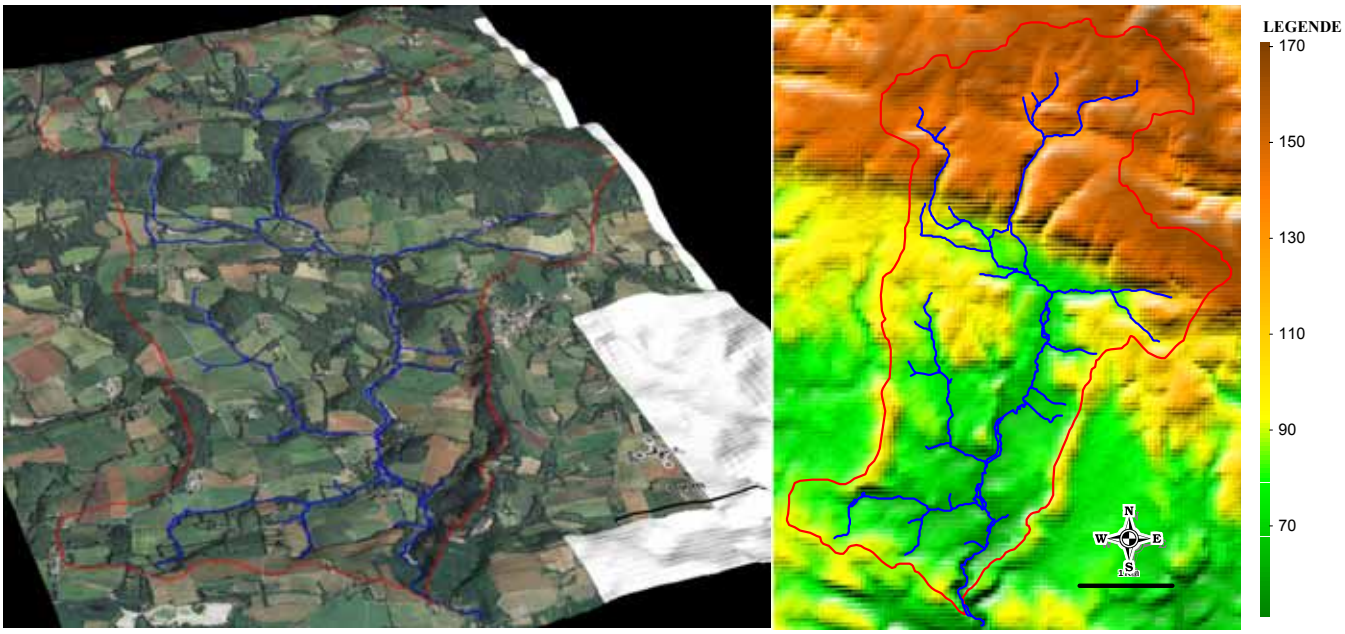
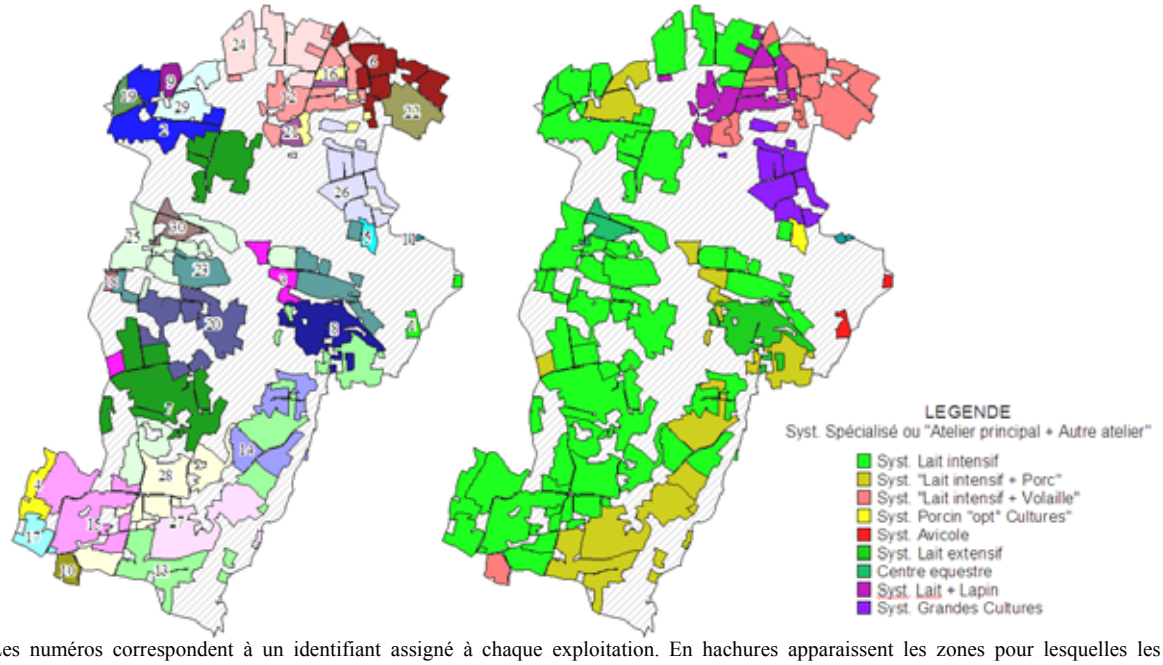


Figure 45. Paysage et topographie du bassin versant du Stang Varric (en bleu : réseau hydrographique ; en rouge : limite du bassin versant ; altitude en mètres ; sources : BD Ortho et BD Alti © IGN, SAGE Blavet)

La production laitière est dominante, accompagnée de quelques élevages hors-sol. Cela se traduit par l'omniprésence d'exploitations spécialisées dans la production laitières et mixtes « lait+porcs » (figure 46). Sur les 30 exploitations entièrement ou partiellement incluses dans le bassin versant[18], 15 sont des exploitations laitières spécialisées (35% du bassin versant), 11 sont des exploitations mixte avec pour atelier principal la production laitière (16% du bassin versant). Les 4 exploitations restantes sont spécialisées dans d'autres productions et représentent 5% du bassin versant. Les parcelles agricoles pour lesquelles l'exploitant n'a pas été identifié représentent 12% du bassin versant. La surface non agricole totalise plus de 30%.

Les exploitations font entre 50 et 70 ha de taille en moyenne avec des disparités entre petites (20-40 ha) et grandes exploitations (> 90-100 ha). Leur parcellaire est relativement groupé et/ou avec des grands îlots dispersés. Les exploitants sont relativement jeunes : 45 ans en moyenne dont les deux tiers ont moins de 40 ans. Les données proviennent d'enquêtes terrain réalisées en 2003 et 2005 (Geslot, 2005). Ce site est aussi situé dans un canton en ZES.

[18] Le Stang Varric totalise 1730 ha lorsque l'on tient compte des parcelles en limite de bassin versant.



Les numéros correspondent à un identifiant assigné à chaque exploitation. En hachures apparaissent les zones pour lesquelles les exploitants n'ont pas été identifiées ou ne correspondant pas à de la SAU.

Figure 46. Localisation des exploitations agricoles et de leur système de production du bassin versant du Stang Varric en 2005

4.3. Conclusion partielle

Face aux divers enjeux liés à la gestion de l'eau auxquels le bassin versant du Blavet doit faire face, tant sur le plan quantitatif que qualitatif, et à la diversité des acteurs impliqués dans cette gestion, une démarche prospective a été engagée sur ce bassin versant dès 2003.

Ainsi, afin d'appréhender la complexité de la gestion de l'eau et dans l'optique de disposer d'un outil d'aide à la décision, une démarche prospective à deux échelles a été engagée dans le cadre du volet prospectif du SAGE Blavet. Tandis qu'à l'échelle de l'ensemble du bassin versant, une étude prospective vise à éclairer tous les enjeux de la gestion de la ressource en eau, l'objectif principal de l'étude prospective réalisée à l'échelle locale est de produire des scénarios de l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères, afin *in fine* d'évaluer leurs impacts, en particulier sur la qualité de l'eau.

Pour représenter les futurs possibles à cette échelle, sur trois sites représentatifs des grandes disparités de paysages et d'activités agricoles du bassin versant du Blavet ont été choisis : le bassin versant du Lestolet situé dans la zone amont du Blavet, dans les Côtes d'Armor ; le bassin versant du Coët-Dan situé au Sud-est de Pontivy dans la zone médiane du Blavet ; et le bassin versant du Stang Varric localisé dans la zone aval, en périphérie de Lorient.

L'étude prospective menée à l'échelle locale sur le Blavet consiste tout d'abord à établir « la base » des scénarios, c'est-à-dire l'état diagnostique nécessaire à l'élaboration des scénarios d'évolution des structures paysagères et de l'utilisation des sols sur ces trois sites. Elle comprend successivement la reconstitution des trajectoires d'évolution passées jusqu'à l'état actuel du système étudié, l'identification et la hiérarchisation des variables explicatives des changements observés, et la définition des enjeux prospectifs du système considéré.

CHAPITRE 5 - Reconstitution des trajectoires d'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères

L'objectif de ce chapitre est de déterminer l'évolution de l'occupation des sols et des structures paysagères sur les trois sites d'étude pour la période 1952/2002. Elle est déterminée à partir d'une série de descripteurs construits principalement à partir de données de télédétection. L'analyse rétrospective effectuée à l'aide de ces descripteurs permet de retracer comparativement les trajectoires d'utilisation des terres depuis un demi-siècle sur les trois sites.

Ce chapitre synthétise le rapport détaillé d'une étude contractuelle menée pour le compte de l'Institution Interdépartementale du SAGE Blavet (Hubert-Moy et al., 2003-b). Le lecteur pourra s'y rapporter pour de plus amples détails sur la méthodologie ou les résultats obtenus.

5.1. Méthodologie

Deux trajectoires temporelles différenciées sont reconstituées selon la nature des documents utilisés : l'identification des structures paysagères et des modes d'occupation des sols est effectuée à un pas de temps quasi-décennal à partir de descripteurs issus de séries de photographies aériennes pour la période 1952-1999 (Temps Long), et à un pas de temps annuel à partir de descripteurs dérivés d'une série d'images satellitaires pour la période 1996-2002 (Temps Court).

5.1.1. Les descripteurs

Les descripteurs sont destinés à déterminer l'évolution des structures paysagères (bocage et zones humides de fonds de vallées) et des modes d'occupation et d'utilisation des sols influant sur le transfert de flux au sein des bassins versants étudiés (cf. partie 4.2.).

5.1.1.1. Descripteurs de l'évolution des structures paysagères

Les descripteurs choisis pour décrire l'évolution des structures paysagères sont au nombre de six et caractérisent exclusivement le temps long :

- Longueur du réseau linéaire boisé (Temps Long)
- Densité du réseau linéaire boisé (Temps Long)
- Densité du réseau linéaire boisé ayant un impact sur les transferts de flux de surface* (Temps Long)
- Surface de la zone humide (Temps Long)
- Longueur de contact entre la zone humide et le versant drainé (Temps Long)
- Compacité des zones humides* (Temps Long)
- Fragmentation des zones humides* (Temps Long)

* Les méthodes utilisées pour calculer ces descripteurs sont placées en annexes 1 et 2.

5.1.1.2. Descripteurs des successions des modes d'occupation et d'utilisation des sols

Les onze descripteurs de l'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols retenus caractérisent la trajectoire « Temps Long » et/ou la trajectoire « Temps Court » :

- Taille du parcellaire
- Distribution de la taille du parcellaire (Temps Long)
- Ratio « SAU / non SAU » (Temps Long)
- % de la SAU complantée (présence d'arbres -pommiers- dans les champs) (Temps Long)
- Evolution des principaux types d'occupation du sol pour les bassins versants (Temps Long)
- Evolution des principaux types d'occupation du sol dans les zones humides (Temps Long)
- Evolution des types d'occupation du sol à proximité des zones humides (Temps Long)
- Ratio « cultures / surfaces en herbe » (Temps Long) et (Temps Court)
- % de la SAU en sols nus à peu couverts l'hiver (Temps Court)
- % de sols nus suivis d'un maïs (Temps Court)
- Fréquence de sols nus à peu couverts en hiver sur la SAU (Temps Court)
- Fréquence de sols nus en hiver suivis d'un maïs (Temps Court)

5.1.2. Les données

Les principales sources d'information dont sont dérivés les descripteurs sont une série de photographies aériennes et une série d'images satellitaires. Des données complémentaires sont utilisées, d'une part pour effectuer des classifications sur les données de télédétection et valider les résultats, d'autre part pour exploiter statistiquement les résultats avec un SIG.

5.1.2.1. Les données de télédétection

Les changements de structures paysagères et des modes d'occupation et d'utilisation des sols que l'on peut caractériser à partir de données de télédétection répondent à trois niveaux de résolution temporelle :

- Le temps de l'année culturale, qui correspond à la notion de parcelle culturale, couvre une période allant des premiers labours de fin d'été ou d'automne aux dernières récoltes. Au cours d'une même année culturale, plusieurs espèces peuvent être successivement cultivées dans la parcelle, comme les cultures dérobées d'hiver associées à une culture principale ou les cultures légumières,
- Le temps des systèmes de cultures ou successions culturales définies à un pas de temps pluriannuel,
- Le temps des mutations qui correspond à des transformations des territoires agricoles. C'est le temps des changements de systèmes de culture, des transformations du paysage agraire et des structures paysagères (drainage des zones humides, remembrements…).

Les principales sources d'information pour identifier ces différents changements sont les photographies aériennes et les images satellitaires à haute résolution spatiale.

5.1.2.1.1. Les photographies aériennes

Les photographies aériennes utilisées proviennent de plusieurs missions IGN. Le tableau 2 présente les caractéristiques des photographies aériennes choisies pour réaliser ce suivi sur les cinquante dernières années. Le choix des dates est fortement contraint par l'existence de prises de vue sur les sites étudiés. Seules les missions des années 1952, 1981 et 1998-99 permettent une réelle comparabilité des données dans le temps car elles proviennent de missions couvrant la totalité de la région. Aucune couverture régionale n'étant disponible entre 1952 et 1981, des prises de vue issues de missions locales ou départementales ont été utilisées comme dates intermédiaires. Au total, la durée moyenne entre 2 missions utilisées est d'environ 15 ans.

Bassin versant étudié	Année	Mission	Vol	Date prise de vue	Heure Locale	N° clichés (Contact)	Echelle clichés	Altitude sol/mer (m)	Emulsion
Lestolet	1952	0216-0816	Ile d'Ouessant / Guingamp	xx/05/1952	10H30 à 11H00	014 à 016	1/25000	3125 3300	Panchro
Lestolet	1952	0317-0817	Le Conquet / Quintin	23/05/1952	11H10 à 14H30	075 à 077	1/25000	3125 3350	Panchro
Lestolet	1966	0617-0917	Huelgoat / Moncontour	16/05/1966	13H00 à 13H50	151 à 153	1/23000	3500 3800	Panchro
Lestolet	1966	0516-0916	Landerneau / Saint Brieuc	18/08/1966	10H10 à 10H50	295 à 297	1/23000	3700 3800	Panchro
Lestolet	1981	0717-1117	Carhaix Plouguer / Caulnes	18/08/1981	11H59 à 13H42	164 - 165	1/30000	4550 4755	Panchro
Coët-Dan	1952	0919-1219	Josselin / Janzé	21/05/1952	12H35 à 14H40	002 à 004 111, 112 118, 119	1/25000	3125 3300	Panchro
Coët-Dan	1960	0919-1119	Josselin / Guer	22/03/1960	11H40 à 13H45	048 à 050 135 à 137 143, 144	1/25000	3250 3400	Panchro
Coët-Dan	1972	0919	Josselin ½ Est	14/07/1972	11H16 à 11H40	031, 032 040, 041 048	1/30000	4500 4620	Panchro
Coët-Dan	1981	0519-1019	Quimper / Ploërmel	17/08/1981	14H53 à 16H28	144 à 146 174	1/30000	4590 4695	Panchro
Stang Varric	1952	0319-0819	Pointe du Raz / Bubry	x4/06/1952	11H20 à 12H55	169 à 171 264 à 266	1/25000	3125 3275	Panchro
Stang Varric	1958	0619-0819	Rosporden / Bubry	22/04/1958 16/06/1958	9H05 à 11H00 10H00	211, 212 269 à 271 288	1/25000	3125 3275	Panchro
Stang Varric	1976	0719-0819	Plouay / bubry	16/06/1976 23/06/1976	14H45 12H40	31 à 33 75, 76	1/30000	4440 4590	Panchro
Stang Varric	1981	0519-1019	Quimper / Ploërmel	17/08/1981	10H50 à 11H20	31 à 33 93, 94	1/30000	4590 4695	Panchro

Tableau 2. Caractéristiques des missions aériennes utilisées

Les photographies sont d'une qualité variable qui a pour origine :

- des effets météorologiques perturbateurs (présence d'ombres portées de nuages - Stang Varric 1958),
- des raisons climatiques (sécheresse de 1976 qui ne permet ni la distinction entre les cultures et les surfaces en herbe ni la délimitation de la zone humide – Stang Varric).

Ces facteurs de dégradation de la qualité des clichés peuvent entraîner des difficultés, voire des lacunes dans l'interprétation des types d'occupation du sol. De plus, certaines missions sont effectuées à des périodes où les cultures sont à des stades phénologiques qui peuvent entraîner quelques confusions avec les prairies.

5.1.2.1.2. Les images satellitaires

La série d'images satellitaires utilisée est présentée dans le tableau 3. Elle comprend 14 scènes dont 8 ne couvrent qu'un seul des 3 bassins versants, tandis que 6 sont communes à 2 ou 3 bassins versants. Elles proviennent de 4 capteurs à haute résolution différents (SPOT HRV, SPOT HRVIR, IRS-LISS 1D et IRS-LISS 1C).

Bassin versant	Satellite/ Capteur	Path/row de la scène	Date de prise de vue	Taille du pixel	Angle de visée (en °)	Angle d'élévation solaire (en °)	Bandes spectrales
Lestolet (hiver1996-97)	SPOT HRV	28/251	29-12-1996	20m	15.4	17.4	V, R, PIR
Lestolet (hiver1997-98)	IRS-LISS 1C	13_47Q7	13-12-1997	25m	13.8	17.5	V, R, PIR
Lestolet (hiver1998-99)	IRS-LISS 1D	IRSDDPF12-95	16-03-1999	25m	10.5	38.57	V, R, PIR
Lestolet (hiver1999-00)	IRS-LISS 1C	13_47Q7	08-03-2000	25m	13.72	34.9	V, R, PIR
Lestolet (hiver2000-01)	SPOT HRV	28/252	24-01-2001	20m	13.2	18.8	V, R, PIR
Lestolet (hiver2001-02)	SPOT HRVIR	027/252	17-12-2001	20m	13.2	17.5	V, R, PIR, MIR
Lestolet (Eté1997)	SPOT HRV	029/251	15-08-1997	20m	15.1	54.8	V, R, PIR
Lestolet (Eté2002)	SPOT 5 HRVIR	029/252	13-09-2002	10m	12.77	43.68	V, R, PIR, MIR
Coët-Dan (hiver1996-97)	SPOT HRV	029/253	04-12-1996	20m	12.2	19.1	V, R, PIR
Coët-Dan (hiver1997-98)	SPOT HRV	030/253	05-12-1997	20m	12.3	18.7	V, R, PIR
Coët-Dan (hiver1998-99)	IRS-LISS 1D	IRSDDPF12-95	16-03-1999	25m	10.5	38.57	V, R, PIR
Coët-Dan (hiver1999-00)	SPOT HRVIR	029/253	15-01-2000	20m	5.6	19.8	V, R, PIR, MIR
Coët-Dan (hiver2000-01)	SPOT HRVIR	029/253	08-01-2001	20m	0.2	18.7	V, R, PIR, MIR
Coët-Dan (hiver2001-02)	SPOT HRVIR	029/253	17-12-2001	20m	5.9	18.1	V, R, PIR, MIR
Stang-Varric (hiver1996-97)	SPOT HRV	029/253	04-12-1996	20m	12.2	19.1	V, R, PIR
Stang- Varric (hiver1997-98)	SPOT HRV	030/253	05-12-1997	20m	12.3	18.7	V, R, PIR
Stang- Varric (hiver1998-99)	IRS-LISS 1D	IRSDDPF12-95	16-03-1999	25m	10.5	38.57	V, R, PIR
Stang- Varric (hiver1999-00)	SPOT HRVIR	029/253	15-01-2000	20m	5.6	19.8	V, R, PIR, MIR
Stang- Varric (hiver2000-01)	SPOT HRVIR	029/253	08-01-2001	20m	0.2	18.7	V, R, PIR, MIR
Stang- Varric (hiver2001-02)	SPOT HRVIR	029/253	17-12-2001	20m	5.9	18.1	V, R, PIR, MIR
Stang- Varric (Eté2001)	SPOT HRVIR	031/253	24-08-2001	20m	13.2	49.7	V, R, PIR, MIR
Stang- Varric (Eté2002)	SPOT HRVIR	031/253	13-08-2002	20m	14.4	55.6	V, R, PIR, MIR

Tableau 3. Caractéristiques des images satellitaires utilisées

Les scènes couvrent l'ensemble des hivers sur la période 1996-2002, et une partie seulement des étés. Pour des raisons de coût, les données d'été manquantes n'ont pas été achetées, et des données auxiliaires ont été utilisées pour pallier cette lacune : des cartographies des cultures annuelles portant sur l'ensemble du bassin versant du Coët-Dan sur la période 1996-2002 ont été mises gracieusement à notre disposition par le CEMAGREF, tandis que les données statistiques de la PAC à l'échelle communale couvrant la période 1996-2002 ont été acquises auprès de l'ONIC. En conséquence, une partie des résultats sur

deux des sites seront évalués à partir du croisement des images d'hiver et des données statistiques, et ne seront pas représentés cartographiquement à l'échelle de la parcelle.

Les scènes sont exemptes de couverture nuageuse sur les sites d'étude. Elles sont de bonne qualité, à l'exception, pour le bassin versant du Lestolet, des scènes d'hiver 1996-1997 et 1997-1998 caractérisées par des effets de lignage généré par le capteur IRS. La taille du pixel varie de 10m pour Spot 5 à 25 m pour les images IRS-LISS, la résolution spectrale dépendant des capteurs et des dates d'acquisition pour SPOT (mode HRVIR ou HRV).

5.1.2.2. Les données auxiliaires

La détermination des descripteurs de l'évolution des structures paysagères et des modes d'occupation/d'utilisation des sols provient de l'utilisation combinée sous un Système d'Information Géographique (SIG) de cartographies dérivées de données de télédétection avec d'autres couches d'information. Ces dernières comprennent des couches d'information géographiques et des contrôles effectués sur le terrain.

5.1.2.2.1. Les couches d'information géographiques

Les couches d'informations géographiques utilisées pour exploiter statistiquement les résultats obtenus sous la forme d'images classées sont regroupées dans le tableau ci-dessous (Tableau 4). Ces données, produites pour la plupart par l'IGN, ont été acquises par l'Institution du SAGE Blavet et mises à disposition pour cette étude. Seul le MNT couvrant le bassin versant du Coët-Dan a été mis à disposition par l'INRA dans le cadre d'un partenariat scientifique.

Données	Description	Source
BD Ortho	Orthophotoplan sur le territoire du bassin versant du Blavet	SAGE Blavet
BD Scan25	Fichiers numériques des cartes IGN au 1/25000ème couvrant le bassin versant du Blavet	SAGE Blavet
BD Alti	Données altitudinales du bassin versant du Blavet (au pas de 50m)	SAGE Blavet
BD Carto	Contient toutes les données SIG concernant le réseau routier, le réseau hydrographique, les limites communales, les limites cantonales, … du bassin versant du Blavet	SAGE Blavet
Limites des sous bassins versants	Correspond aux limites des sous bassins versants du Blavet	SAGE Blavet
MNT Coët-Dan	Modèle numérique de terrain du bassin versant du Coët-Dan au pas de 20m	INRA

Tableau 4. Liste des données SIG utilisées

5.1.2.2.2. Les contrôles terrain

Des informations provenant du terrain sont nécessaires pour réaliser les phases d'apprentissage et de validation de la photo-interprétation des clichés aériens et de la classification des images satellitaires. Ces informations ont été acquises soit sous forme de fichiers cartographiques de contrôles terrain effectués dans le cadre d'autres études (tableau 5 : Hubert-Moy *et al.*, 2003-a ; Houet, 2002), soit sous forme de fichiers statistiques (tableau 6). Des calendriers agricoles ont également été utilisés pour guider les classifications en validant la présence ou l'absence de classes d'occupation des sols à certaines périodes de l'année.

Bassin versant	Date des contrôles terrain	Nombre d'ha couverts par le contrôle	Source
Lestolet	Tous les hivers et étés étudiés [basés sur les bassins versants du Lestolet et du Yar]	> à 150 ha	COSTEL
Coët-Dan	Tous les hivers et étés étudiés [basés sur le bassin versant du Coët-Dan]	> à 150 ha	CEMAGREF COSTEL
Stang-Varric	Tous les hivers et étés étudiés [basés sur les bassins versants du Stang Varric et du Scorff]	> à 150 ha	COSTEL

Tableau 5. Caractéristiques des contrôles terrain utilisés

Type de données statistiques	Echelle de restitution	Source
PAC	Communale	SCEES
RGA	Communale	ONIC

Tableau 6. Statistiques agricoles utilisées

5.1.3. Le traitement des données

Les démarches de prétraitement et de traitement des données de télédétection sont exposées ci-après, ainsi que le traitement statistique des données.

5.1.3.1. La série de photographies aériennes

La numérisation des clichés constitue la 1ère étape du prétraitement des photographies aériennes. Afin d'obtenir des fichiers numériques avec une forte précision et un volume informatique acceptable, la numérisation des clichés panchromatique a été effectuée à une résolution de 900 dpi (Dot Per Inch), soit 360 pixels par centimètre.

Les corrections géométriques appliquées ensuite consistent à réduire les déformations spatiales des photographies dues à la configuration de leur acquisition et du relief et à les géoréférencer dans le système de référence Lambert II étendu. Les corrections effectuées, mesurées par l'erreur quadratique moyenne (RMS), sont satisfaisantes (annexe 3).

L'assemblage des photographies aériennes est ensuite réalisé de façon à obtenir une mosaïque représentant les trois sites d'étude à chaque date (annexe 4).

Enfin, un important travail de digitalisation et de photo-interprétation a été réalisé pour créer les couches d'informations géographiques nécessaires au calcul des descripteurs (annexe 5) : création et typologie de la structure linéaire du réseau bocager, délimitation des zones humides de fonds de vallées, création du parcellaire et identification des types d'occupation des sols selon la nomenclature retenue (tableau 7). En ce qui concerne le réseau bocager, seul le linéaire boisé et/ou arbustif est identifiable à partir des photographies aériennes ; en conséquence, les talus sans végétation arbustive ou boisée ne sont pas cartographiés, bien qu'ils jouent un rôle sur les transferts de flux.

Code d'occupation du sol	Type d'occupation du sol
1	Routes et chemins d'exploitation
2	Surfaces bâties
3	Boisements naturels (feuillus)
4	Plantations de résineux
5	Friches – Landes
6	Cultures
7	Surfaces en herbe
8	Plantations de feuillus
9	Espaces de loisirs
10	Surfaces en eau
11	Serres horticoles

Tableau 7. Les classes d'occupation du sol pour la période 1952-1999

5.1.3.2. La série d'images satellitaires

Afin d'être superposables et comparables, les images satellitaires doivent au préalable être corrigées des effets radiométriques et atmosphériques ainsi que des distorsions géométriques (annexe 6). Ces dernières consistent à réduire les déformations spatiales des images dues à la configuration de l'acquisition des images (les capteurs SPOT par exemple permettent une visée oblique) et du relief. Les corrections radiométriques et atmosphériques permettent quant à elles de rectifier les modifications de la signature spectrale des objets captés dues aux phénomènes physiques qui se produisent pendant la traversée de l'atmosphère, en transformant les comptes numériques en grandeurs physiques. Le logiciel 5S, développé par le Laboratoire d'Optique Atmosphérique de l'Université de Lille, simule les conditions atmosphériques au moment de la prise de l'image satellitaire et ses effets sur celle-ci en prenant en compte des processus de diffusion, d'absorption et de réfraction atmosphériques (Kergomard, 2000). Ce modèle a été utilisé pour convertir les comptes numériques des images en réflectance au sol.

Sur l'ensemble de la période 1996-2002, les séries d'images d'hiver et d'été ont fait l'objet de traitements différents basés sur des procédures empruntées à Corgne (2004) (annexe 7) avec une nomenclature propre à chaque série (tableaux 8 et 9). Elles permettent notamment, en croisant chaque classification d'hiver avec la classification de l'été suivant, d'identifier les parcelles en sols nus à peu couverts ne correspondant pas à une culture de céréales ou à une culture légumière récemment implantée, et de déterminer les cultures annuelles. Les relevés effectués sur le terrain (tableau 5) ont permis de réaliser les phases d'apprentissage et de validation des classifications des images.

Code d'occupation du sol	Type d'occupation du sol
1	Sols couverts
2	Sols nus à peu couverts
10	Surfaces bâties
20	Surfaces boisées
30	Eau

Tableau 8. Les classes d'occupation du sol en hiver pour la période 1996-2002

Code d'occupation du sol	Type d'occupation du sol
1	Friches, landes
2	Prairies
3	Céréales
4	Maïs
10	Surfaces bâties
20	Surfaces boisées
30	Eau

Tableau 9. Les classes d'occupation du sol annuelles pour la période 1996-2002

5.1.3.3. Le traitement statistique des données

Il repose sur le calcul de ratios et de matrices de transition entre différents états d'occupation et d'utilisation des sols.

5.1.3.3.1. Calcul de ratios

Le calcul de la surface ou de la longueur des différents objets géographiques créés (réseau bocager, trame parcellaire, zone humide…) se fait de façon automatique au sein du Système d'Information géographique (SIG).

L'utilisation de requêtes permet de sélectionner tout ou partie d'une information contenue dans une couche d'information géographique, afin d'extraire des statistiques portant par exemple sur un ou plusieurs types d'occupation du sol (SAU, surfaces boisées, surfaces « minérales »…).

Tous les indicateurs basés sur des ratios ou autre calcul simple, pourront dès lors être réalisés soit au sein du logiciel SIG, soit au sein d'un tableur, en fonction de la forme de restitution souhaitée (cartographies, diagrammes, …).

5.1.3.3.2. Calcul des matrices de transition

Le calcul des matrices de transitions a été réalisé sous le logiciel Idrisi. Les images de l'occupation des sols sont obtenues après rasterisation des couches vectorielles à une résolution d'1m. Les matrices de transition permettent d'analyser :

- l'intensité des transferts d'occupation du sol : l'observation d'une matrice de transition permet de comparer ce qui n'a pas changé (diagonale entre deux classes d'occupation du sol identiques) avec ce qui a changé (autres cases)
- le devenir d'un type d'occupation du sol (par exemple – tableau 10 – 231 ha sur les 428 ha de surfaces en herbe en 1952 ont été conservées en 1966, tandis que 114 ha sont devenus des cultures)
- la provenance d'un type d'occupation du sol (par exemple, 23ha de boisements de feuillus en 1966 l'était déjà en 1952, alors que 20 ha proviennent de parcelles en friches en 1952)
- l'analyse des variations d'occupation du sol en terme de pertes et de gains (par exemple, le bilan de l'évolution des surfaces en herbes passe de 428 ha en 1952 à 468 ha, mais avec une perte totale de 197 ha et un gain de 237 ha sur d'autres classes d'occupation du sol.

Croisement des données de 1966 (colonnes) et de 1952 (lignes)

	Pas de données	Route	Bâti	Boisements feuillus	Friches Landes	Cultures	Surfaces en herbe	Total
Route	14	**349782**	687	1515	2921	9292	3575	367786
Bâti	2	1173	**271325**	2418	7698	1973	7028	291617
Bois feuillus	0	0	1	**23676**	1543	0	3119	28339
Friches Landes	6	2696	8764	20584	**901655**	698637	577624	2209966
Cultures	188	5790	27117	1267	212125	**4040090**	1787075	6073652
Surfaces en herbe	8	2541	13918	1777	805116	1149351	**2310919**	4283630
Total	218	361982	321812	51237	1931058	5899343	4689340	**13254990**

	Pas de données	Route	Bâti	Boisements feuillus	Friches Landes	Cultures	Surfaces en herbe	Total
Route	0.00%	**2.64%**	0.01%	0.01%	0.02%	0.07%	0.03%	2.77%
Bâti	0.00%	0.01%	**2.05%**	0.02%	0.06%	0.01%	0.05%	2.20%
Bois feuillus	0.00%	0.00%	0.00%	**0.18%**	0.01%	0.00%	0.02%	0.21%
Friches Landes	0.00%	0.02%	0.07%	0.16%	**6.80%**	5.27%	4.36%	16.67%
Cultures	0.00%	0.04%	0.20%	0.01%	1.60%	**30.48%**	13.48%	45.82%
Surfaces en herbe	0.00%	0.02%	0.11%	0.01%	6.07%	8.67%	**17.43%**	32.32%
Total	0.00%	2.73%	2.43%	0.39%	14.57%	44.51%	35.38%	**100.00%**

Tableau 10. Matrices de transition montrant l'évolution de l'occupation des sols entre 1952 et 1966 sur le bassin versant du Lestolet (surfaces en m² et %)

5.2. Résultats

5.2.1. L'évolution de la structure bocagère

Les trajectoires spatio-temporelles des structures paysagères et des modes d'occupation/d'utilisation des sols des trois sites sont présentées et analysées ci-après.

5.2.1.1. L'évolution du bocage entre 1952 et 1999

Sur le bassin versant du Lestolet, le linéaire boisé est passé de 287,8 Km en 1952 à 216,1 Km en 1998. Cette diminution était limitée à quelques secteurs circonscrits en 1966 (figure 47 p. 121), mais dès 1981, des haies disparaissent un peu partout sur le bassin versant et cette tendance s'est poursuivie jusqu'en 1998. Les 104,4 Km qui ont été perdus au cours de la période 1952-2002 se situent sur des espaces dont la topographie est relativement peu accidentée, alors que les 11,6 Km qui sont apparus, sont situés sur des versants prononcés ou à proximité des routes. Près de 174,6 Km de linéaire bocager sont restés stables entre 1952 et 1998. En 1998, la densité bocagère atteint les 163m/ha, contre 213m/ha en 1952.

L'évolution du réseau bocager sur le bassin versant du Coët-Dan est très différente. La densité bocagère en 1952 est relativement peu importante (164m/ha), équivalente à celle du Lestolet en 1998. Les zones où le linéaire boisé est le plus dense sont situées à proximité des sièges d'exploitation (figure 48 p. 122), entre lesquels existent des zones au maillage bocager plus lâche. En 1960, seules ces zones sont soumises à une régression du bocage, et cela s'accentue jusqu'en 1972. Entre 1960 et 1981, le bassin versant du Coët-Dan a subi une véritable mutation de sa structure paysagère : seules les haies situées en zone de fonds de vallées subsistent, ainsi que certaines haies bordant réseau routier. La situation évolue peu jusqu'en 1999. La densité bocagère atteint alors 72,4m/ha pour un linéaire total de 87 km. Cette faible densité s'explique par la perte de 137,5 Km de haies, 56,7 Km seulement de haies étant restées stables. L'apparition de haies après 1952 est faible (13 Km).

Le Stang Varric a une densité bocagère assez forte en 1958, avec une moyenne de 191m/ha. En 1976, on observe que le paysage a subi une véritable mutation, les haies ayant totalement disparu dans les zones peu escarpées (figure 49 p. 123). Entre 1976 et 1981, la situation a peu évolué. Par contre, en 1999, de nombreuses haies sont apparues soit dans les fonds de vallées, soit sur les positions sommitales. Sur la période 1952-1999, le linéaire bocager boisé est passé de 287 Km à 200 Km. Toutefois, cette faible diminution ne révèle pas les pertes et gains importants que le territoire du Stang Varric a pu subir : les haies disparues (166,6 Km) entre 1952 et 1999 sont plus nombreuses que les haies qui se sont maintenues (114 Km), les haies apparues totalisant près de 16 km. Marqué avant les années soixante-dix par un paysage bocager dense, celui-ci présente désormais une nette dichotomie entre les zones escarpées et de fonds de vallées aux haies nombreuses, et les zones planes largement ouvertes, la densité moyenne étant de 130m/ha.

5.2.1.2. L'évolution des haies ayant un impact sur les transferts de flux entre 1952 et 1999

L'analyse de la figure 50 (p. 124) montre toutefois des différences dans l'évolution de la répartition spatiale des haies ayant un impact sur les transferts de flux. Uniformément réparties sur les trois bassins versants en 1952, elles subsistent majoritairement sur les versants escarpés et sur les versants à proximité des fonds de vallées en ce qui concerne le Lestolet et le Stang Varric. Sur le Coët-Dan, les haies plus ou moins perpendiculaires par rapport à la pente sont essentiellement concentrées dans les fonds de vallées et le long des voies de communication.

Etant donnée la baisse conséquente de ces haies incluant les haies puits sur les trois sites (tableau 11), la superficie des « zones puits » a considérablement chuté. Leur absence en amont des zones humides de fonds de vallées résiduelles sur le bassin versant du Coët-Dan constitue un facteur favorisant l'arrivée potentielle de flux polluants.

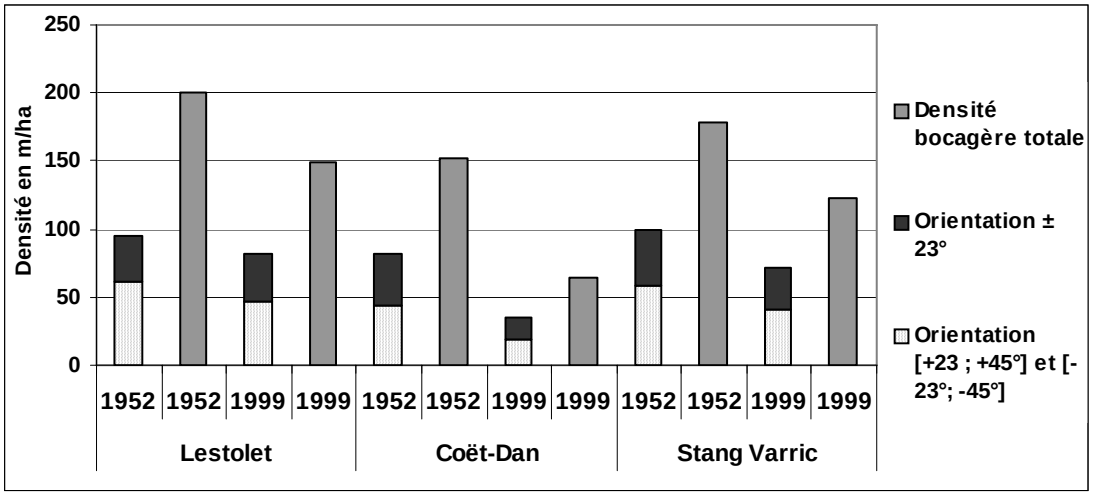


Tableau 11. Evolution de la densité de haies ayant un impact sur les transferts de flux de surface sur les trois bassins versants depuis 1952

Figure 47. Présence du réseau bocager sur le bassin versant du Lestolet en 1952, 1966, 1981, 1998

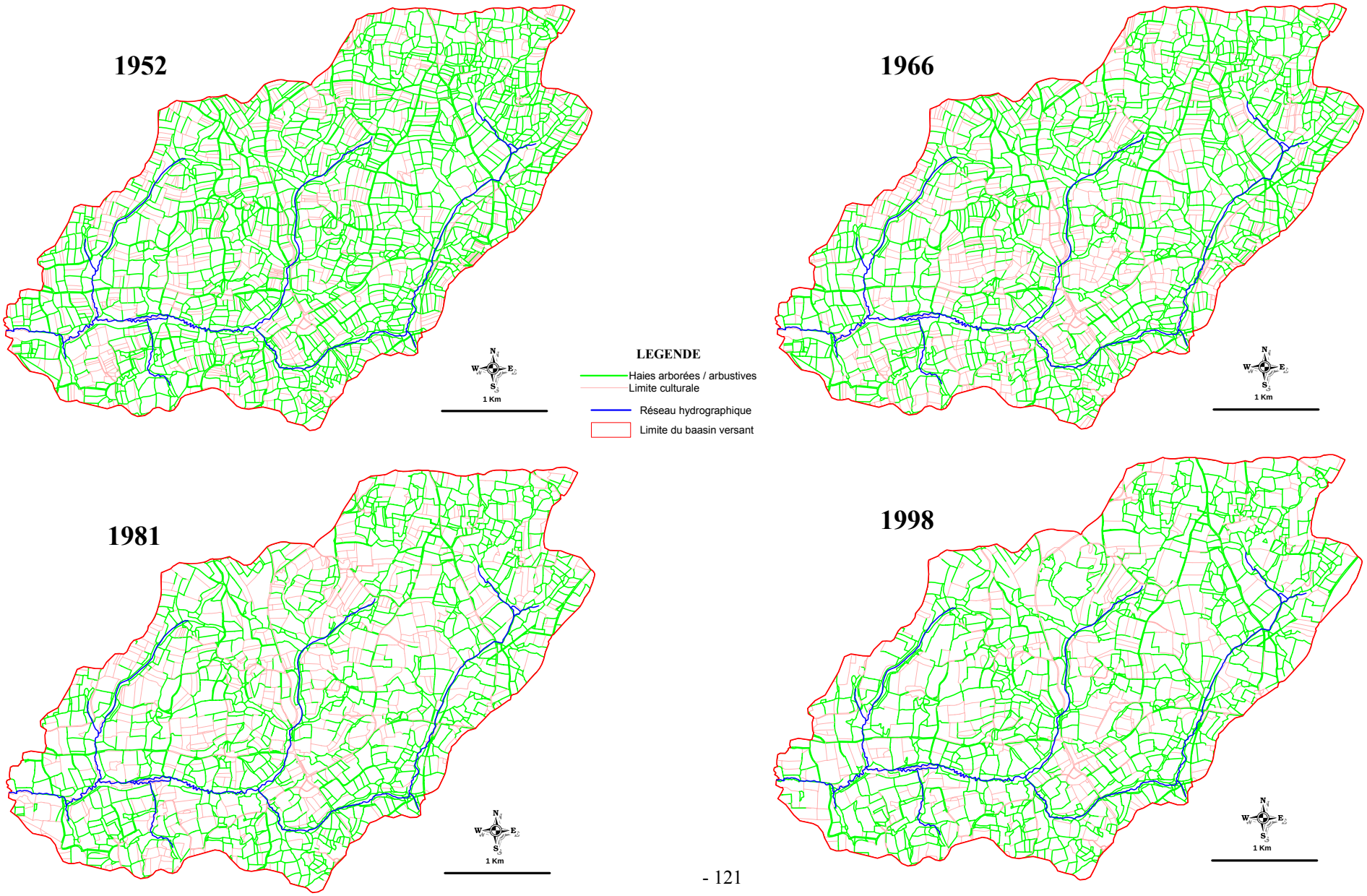


Figure 48. Présence du réseau bocager sur le bassin versant du Coët-Dan en 1952, 1960, 1972, 1981, 1999

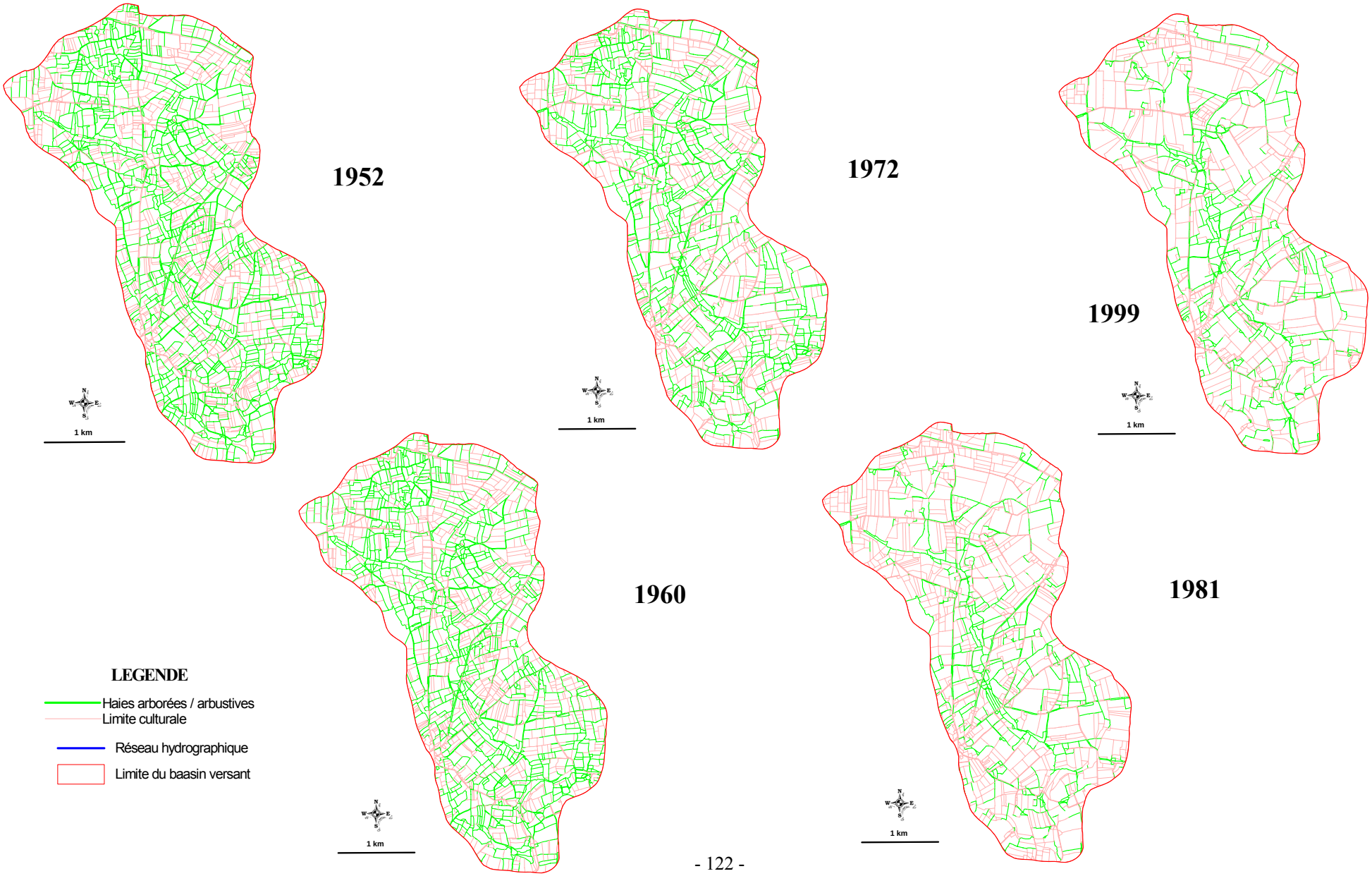


Figure 49. Présence du réseau bocager sur le bassin versant du Stang Varric en 1952, 1958, 1976, 1981, 1999

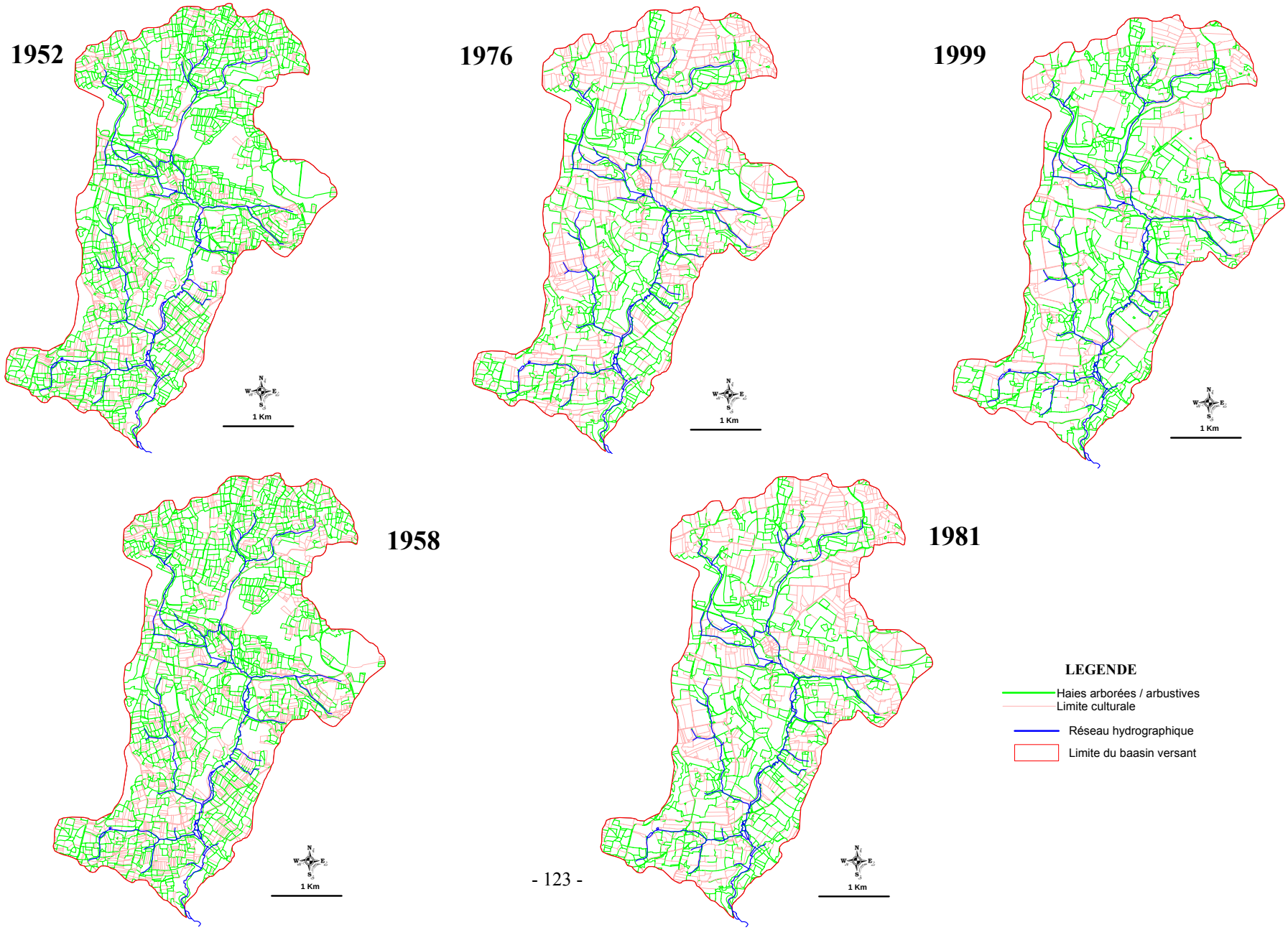
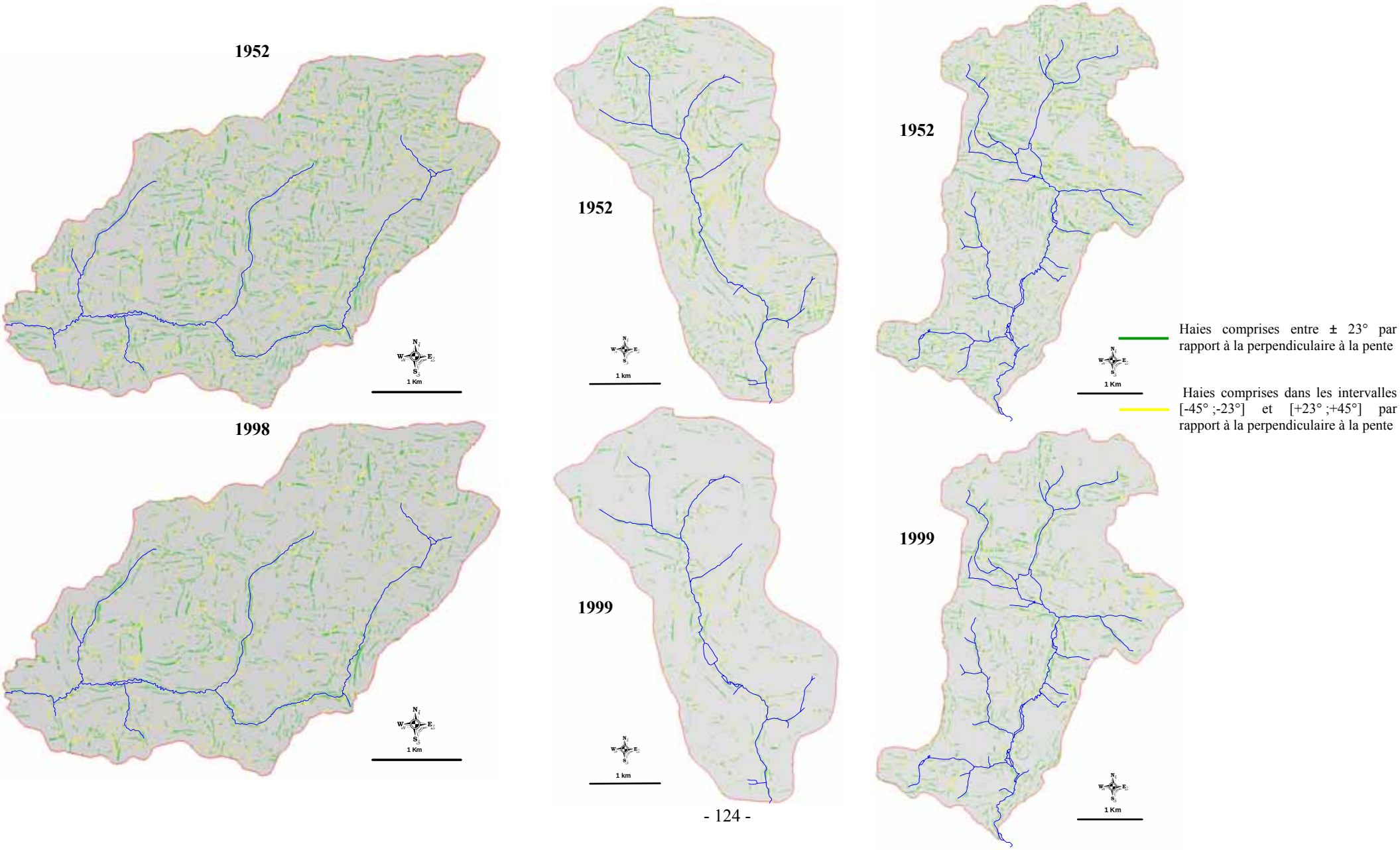


Figure 50. Evolution des haies ayant un impact sur les transferts de flux de surface sur les bassins versants du Lestolet, du Coët-Dan et du Stang Varric depuis 1952



5.2.2. L'évolution des zones humides de fonds de vallées

5.2.2.1. L'évolution de la présence de zones humides de fonds de vallées entre 1952 et 1999

La surface occupée par les zones humides en 1999 varie selon les bassins versants : elle représente 15,82% (soit 219 ha) -ce qui n'est pas négligeable- sur le Lestolet, mais seulement 7,86% (soit 136,5 ha) et 5,29% (soit 74,84 ha) sur le Stang Varric et le Coët-Dan où les opérations de drainage ont été plus importantes.

Les zones humides ont connu une régression continue sur les trois bassins versants entre 1952 et 1999 (figures 51, 52, 53), cette diminution étant plus accentuée sur le Coët-Dan (-7,25%) que sur le Lestolet (–3,91%) et le Stang Varric (–2,42%).

Si pour le Lestolet la régression des zones humides a été régulière sur la période 1952-1998, les zones humides des deux autres bassins versants ont connu une diminution sensible au cours des années 70 (environ –3%), cette diminution étant ensuite moins marquée sur le Stang Varric (-1% environ), tandis que son rythme était encore soutenu sur le Coët-Dan (-2% environ). Cette évolution contrastée explique qu'en 1999 certains secteurs de la zone humide du Coët-Dan ont complètement disparu, les terres ayant été drainées jusqu'au cours d'eau, tandis qu'elles occupent encore globalement une place d'interface entre le versant et le réseau hydrographique sur les deux autres bassins versants, s'étendant encore en raquette en tête de bassin sur le Lestolet, là où les échanges entre le versant et la zone humide sont essentiellement transversaux.

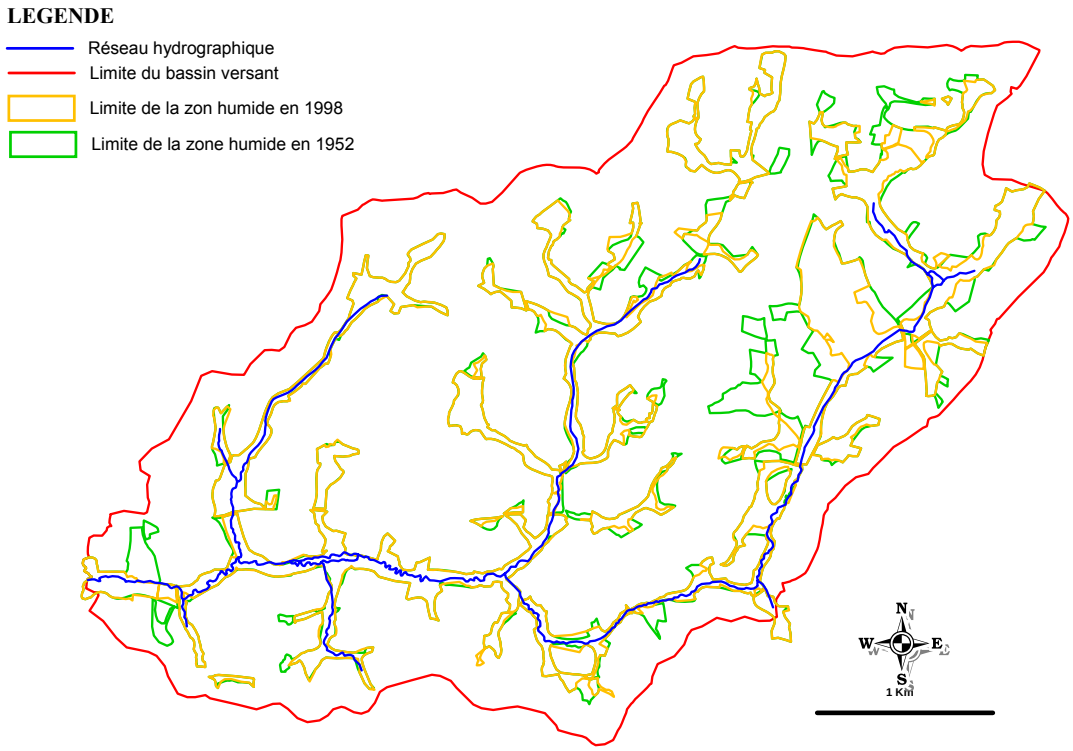


Figure 51. Evolution des zones humides de fonds de vallées entre 1952 et 1998 sur le Lestolet

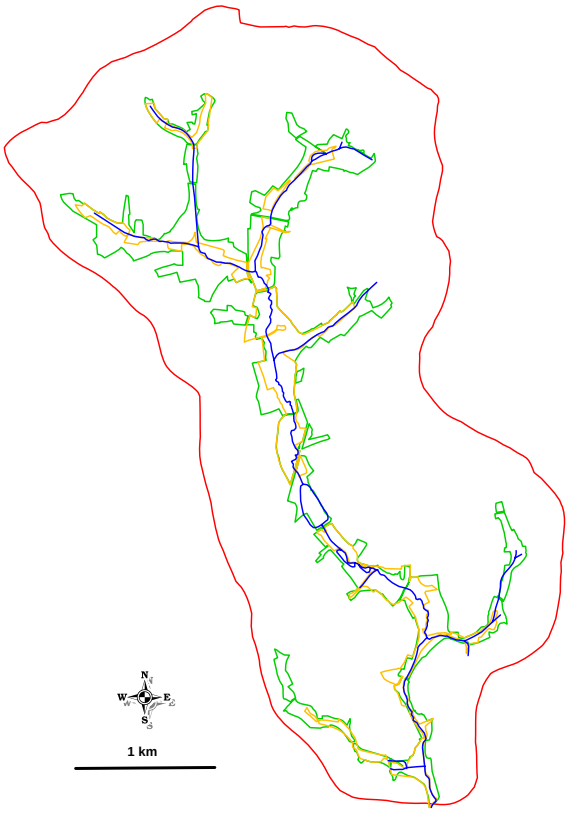


Figure 52. Evolution des zones humides de fonds de vallées entre 1952 et 1999 sur le Coët-Dan

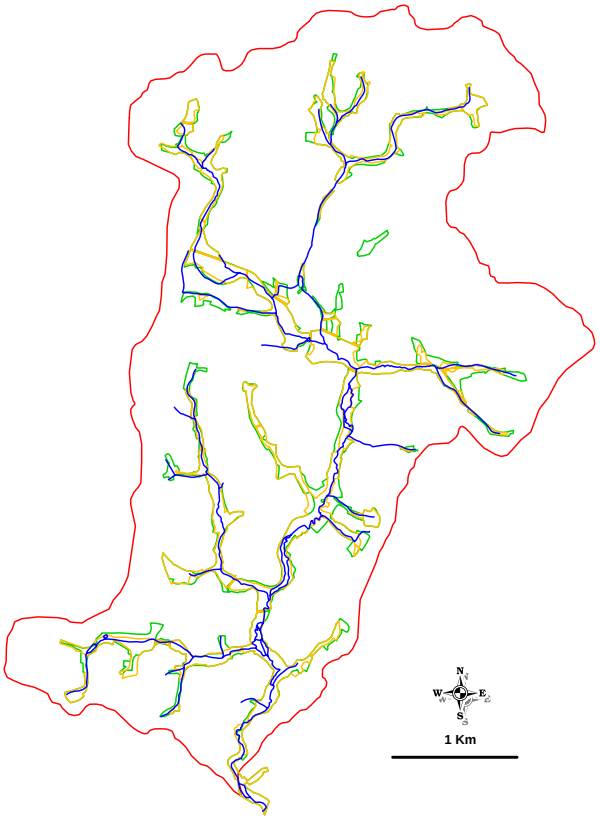


Figure 53. Evolution des zones humides de fonds de vallées entre 1952 et 1999 sur le Stang Varric

5.2.2.2. L'évolution des descripteurs des zones humides de fonds de vallées liés aux transferts de flux polluants entre 1952 et 1999

5.2.2.2.1. La longueur de contact zone humide/zone drainée

La longueur de contact entre la zone humide et le versant drainé influe sur le potentiel de dénitrification de la zone humide, puisque le processus de dénitrification se produit dans les premiers mètres de la zone humide, à l'interface zone humide/versant drainé.

En 1999, elle est, sur le Lestolet, trois fois plus importante que sur le Coët-Dan et deux fois plus que sur le Stang Varric, ce qui montre la différence de potentiel de dénitrification actuelle entre les trois bassins versants (figure 54).

La différence constatée en 1952 entre les trois bassins versants s'accuse avec le temps : en 1952, la différence de contact est 2 fois moins importante sur le Coët-Dan que sur le Lestolet (81,5 Km contre 37,4 Km), tandis qu'elle s'élève en 1999, puisqu'elle devient alors 3 fois moins importante (75,6 Km contre 24,2 Km). Le Stang Varric connaît une évolution intermédiaire. La baisse de la longueur de contact entre la zone humide et le versant est continue entre 1952 et 1999 sur les trois bassins versants.

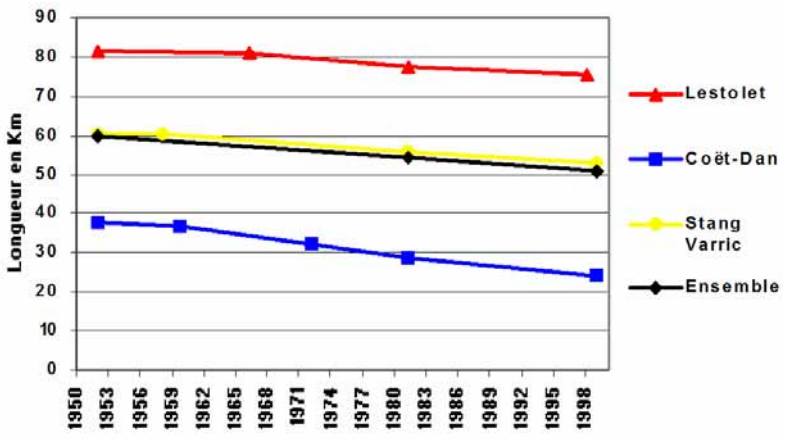


Figure 54. Evolution de la longueur de contact entre la zone humide de fonds de vallées et le versant depuis 1952 sur les trois bassins versants

5.2.2.2.2. L'indice de compacité et le niveau de fragmentation

L'indice de compacité calculé sur les zones humides renseigne sur leur forme, laquelle influe sur le fonctionnement hydrologique, la fonction tampon de la zone étant d'autant plus élevée qu'elle est étendue.

L'indice de compacité est faible, quelque soit le bassin versant considéré et pour toutes les années (toujours < 0,4), ce qui est dû à leur configuration linéaire le long des cours d'eau (figure 55-a). L'indice est en 1999 compris entre 0,25 et 0,3 pour tous les bassins versants. Cependant, un examen plus détaillé montre des différences d'évolution entre les bassins versants. Le Coët-Dan a connu une évolution inverse aux deux autres bassins versants : tandis que l'indice accuse une baisse importante dans les années 70, le Lestolet et le Stang Varric connaissent une légère augmentation.

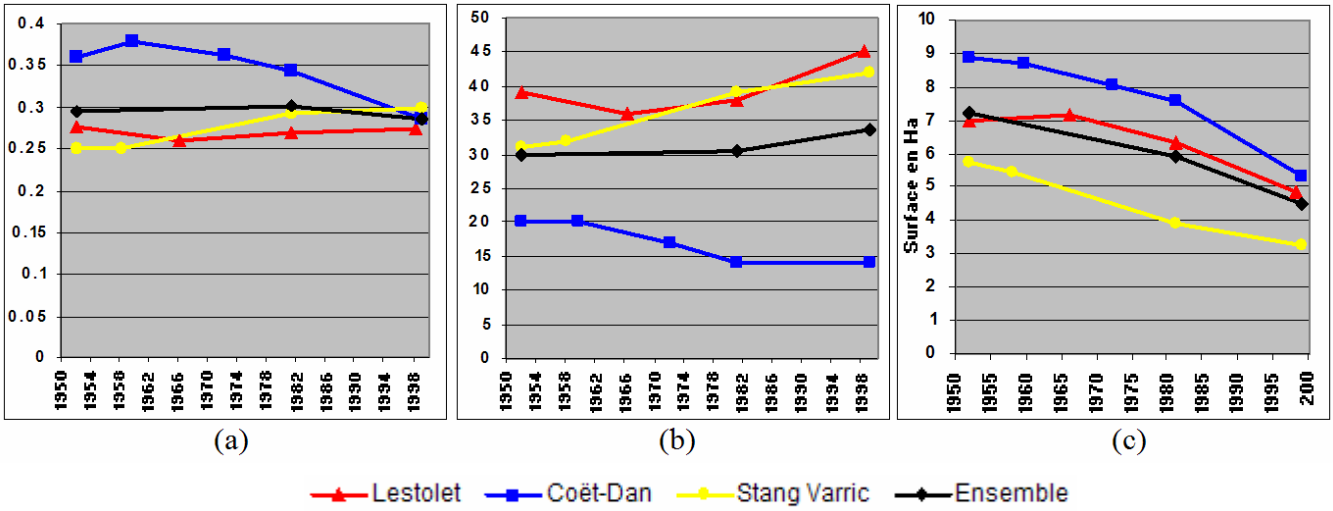


Figure 55. Evolution (a) de l'indice de compacité, (b) du nombre de compartiments et (c) de la taille moyenne des compartiments des zones humides de fonds de vallées des trois bassins versant et de la moyenne des trois bassins versants

L'évolution de la compacité de la zone humide est à mettre en relation avec l'évolution de sa fragmentation, puisque la division de la zone humide en différents compartiments a un impact sur le transfert des flux d'eau et de polluants au sein du bassin versant. Le Coët-Dan connaît simultanément une baisse du nombre et de la taille moyenne des compartiments de sa zone humide parallèlement à la forte réduction de sa superficie (figures 55-b et c). Cela signifie que la zone humide devenait plus étroite, au fur et à mesure de sa disparition dans certains secteurs du bassin versant. Les zones humides du Lestolet et du Stang Varric étaient dès les années 1950 relativement étroites (compacité assez faible), contraintes par des fonds de vallées peu larges. Elles se fragmentent plus vite qu'elles ne perdent de surface. C'est la raison pour laquelle l'évolution de leur longueur de contact baisse doucement. Ainsi chaque compartiment tend à devenir plus compact, expliquant la légère augmentation de leur compacité moyenne.

Deux trajectoires d'évolution des zones humides peuvent être définies : la première consiste en une forte diminution spatiale provenant de la disparition de compartiments entiers et/ou d'une configuration devenant plus linéaire (cas du Coët-Dan). La seconde trajectoire explique la baisse de l'extension spatiale de la zone humide par une fragmentation croissante, propice à l'assèchement de certains compartiments (cas du Lestolet et du Stang Varric).

5.2.3. L'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols

5.2.3.1. Les trajectoires longues sur la période 1952-1999

5.2.3.1.1. Un agrandissement constant des parcelles agricoles

La figure 56 montre l'agrandissement continuel de la taille moyenne du parcellaire agricole entre 1952 et 1998-99, qui a doublé pour le bassin versant du Lestolet, triplé pour le Coët-Dan et quadruplé pour le Stang Varric. Cet accroissement semble plus marqué depuis les années 1970.

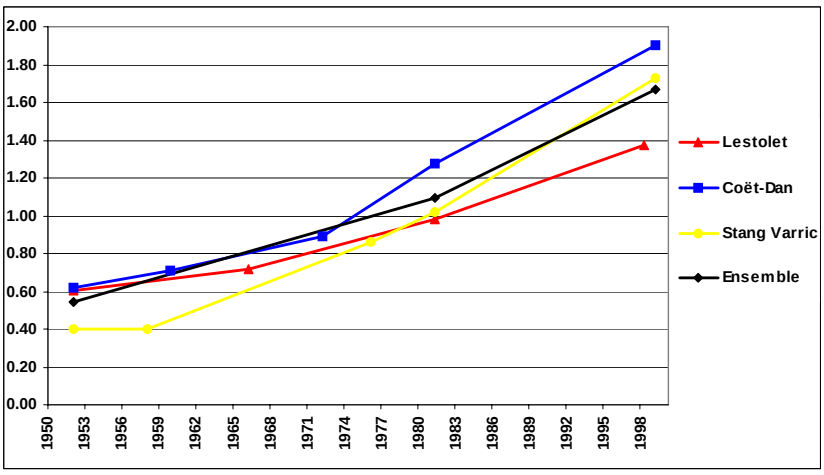


Figure 56. Evolution de la taille moyenne du parcellaire agricole (en ha) des trois sous bassins versants entre 1952 et 1999

L'étude de la distribution de la taille du parcellaire agricole (figure 57) permet de nuancer l'évolution de la taille moyenne des parcelles agricoles. La moitié de la SAU du Lestolet était en 1952 couverte par des parcelles de 0,4 à 1ha, et 30% par des parcelles de 1 à 2 ha. Les proportions étaient assez semblables en 1966. A partir de 1981, on observe un léger agrandissement des parcelles agricoles. Un tiers de la SAU est couvert par des parcelles de

moins d'1ha et près de 50% de la SAU est occupée par des parcelles de 1 à 2 ha. En 1999, 80% de la SAU se compose de parcelles supérieures à 1ha, dont plus de la moitié sont des parcelles de plus de 2 ha. Le Coët-Dan est caractérisé par un agrandissement croissant de son parcellaire agricole. Cette croissance s'accélère à partir de 1972 (60% de la SAU couverte par des parcelles supérieures à 1 ha), pour être très marquée à partir de 1981 (50% de la SAU concernée par des parcelles supérieures à 2 ha). Cette tendance se poursuit en 1999, où 70% de la SAU correspond à des parcelles de plus de 2 ha. Un agrandissement marqué des parcelles agricoles est également observé sur le Stang Varric. Dans les années 1950, la SAU était très morcelée avec plus de 80% de sa superficie couverte par des parcelles inférieures à 0,4 ha. A partir de 1976, la tendance s'est inversée avec près de 65% de la SAU couverte par des parcelles de plus d'1 ha. Cette progression se poursuit en 1981 et cette proportion dépasse les 70%. Cette tendance se prolonge après 1981, mais près des 70% de la SAU correspondent désormais à des parcelles de plus de 2ha.

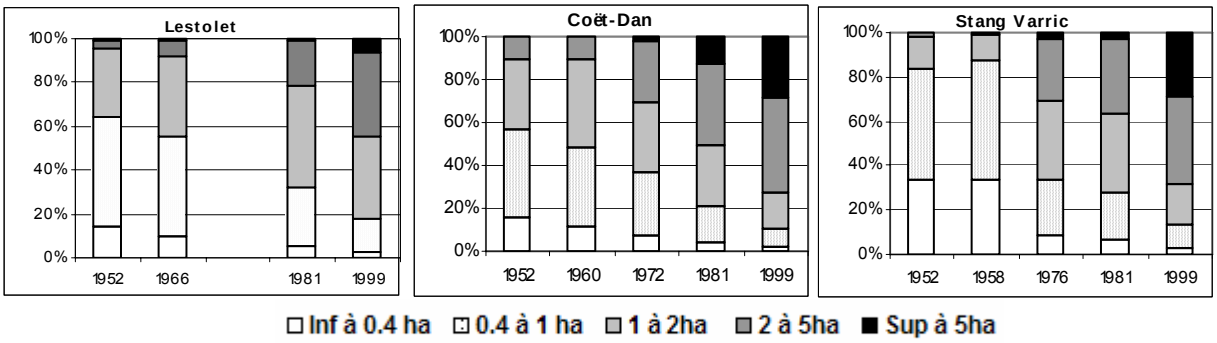


Figure 57. Evolution de la distribution de la taille du parcellaire de la SAU depuis 1952 par bassin versant

L'agrandissement des parcelles agricoles résulte d'une tendance prolongée dans le temps, et n'est pas seulement due à des opérations ponctuelles de remembrements, comme l'exemple du Lestolet le montre. Seule la proportion de grandes parcelles sur ce bassin versant (>5ha) le différencie des autres sites.

5.2.3.1.2. L'évolution des classes d'occupation des sols entre 1952 et 1999

A travers les descripteurs : une hausse des surfaces en herbe, une baisse des cultures

L'évolution des types d'occupation du sol sur le bassin versant du Lestolet entre 1952 et 1998 (figure 58) peut se résumer à une nette diminution des cultures (de 45% à 30% de la surface totale du bassin versant) et une large augmentation des surfaces en herbe (de 32% à 44%). Cette évolution n'est pas linéaire dans le temps. Entre 1952 et 1966, les proportions restent similaires avec une prédominance des cultures. La figure 59 (p.132) montre qu'elles sont réparties de façon assez disparate, les surfaces en herbe se localisant essentiellement dans les fonds de vallées mais aussi ponctuellement sur le reste du bassin versant. Entre 1966 et 1981, on constate une inversion des proportions : les surfaces en herbe totalisent plus de 53% de la surface totale, les cultures ne représentant plus quant à elles que 27%. Les zones cultivées apparaissent plus regroupées. En 1999, une baisse de 10% peut être observée pour les surfaces en herbe alors que les cultures augmentent de 4%. Les friches et landes ont constamment perdu 2 à 3% par rapport à la ST (Surface Totale) entre 1952 et 1981. Par contre, entre 1981 et 1999, elles progressent de nouveau de presque 2%. La localisation des friches et des landes a elle aussi évolué : développées en surfaces homogènes aussi bien sur des versants, sur des zones planes ou sur des positions sommitales en 1952, elles se

concentrent essentiellement dans les zones de fonds de vallées à partir 1981. Les boisements, quasi-inexistants entre 1952 et 1966, totalisent 2% en 1981 et 5% en 1998.

Le bassin versant du Coët-Dan a fait l'objet d'une évolution générale similaire : hausse des surfaces en herbe, baisse des cultures (figure 58). Les proportions de cultures en 1952 et 1960 étaient très importantes, supérieures à 72%. Les zones de fonds de vallées présentent majoritairement des surfaces en herbe et quelques friches (figure 60 p. 133). A partir de 1972, les proportions de surfaces en herbe ont doublé, passant de 16% à 32%, alors que les cultures ont régressé de 16%. Cela se poursuit en 1981, les surfaces en herbe couvrent alors 38% et les cultures plus de la moitié de la surface totale. En 1999, cette tendance s'inverse avec une régression de 10% des surfaces en herbe et une hausse de 8% des cultures. Enfin, les routes et surfaces bâties ont gagné 2% en 30 ans (1952-1981), et autant entre 1981 et 1999. Les modes d'occupation des sols des années les plus anciennes (1952 - 1960) ont la même configuration spatiale : la distinction cultures / surfaces en herbe correspond à la dichotomie zones de fonds de vallées / reste du bassin versant. Les surfaces en herbe sont plutôt regroupées à proximité des exploitations agricoles. En 1981, le morcellement entre cultures et parcelles en herbe s'est considérablement réduit au profit du regroupement des parcelles en herbe. Mais en 1999, on constate que les cultures occupent la totalité des surfaces cultivables, à l'exception de trois zones localisées dans le Nord, dans la partie centre-est et dans la partie sud du bassin versant, le long du cours d'eau. L'augmentation des routes et des surfaces bâties s'explique par l'extension spatiale du bourg de Naizin, situé en partie sur le bassin versant.

L'évolution des types d'occupation du sol entre 1952 et 1999 sur le bassin versant du Stang Varric suit la même tendance pour les cultures et les surfaces en herbe (figure 58). En 1952 et 1958, les cultures représentent près de 45% de la surface totale alors qu'en 1981 la proportion de cultures ne représente plus que 27%. Les surfaces en herbe sont ainsi passées pour la même période de 14% à 33%. Elles diminuent entre 1981 et 1999 (de 33% à 28%). Les friches et landes ainsi que les boisements constituent des classes d'occupation du sol importantes. Leurs surfaces cumulées couvrent plus de 36% du bassin versant en 1952, augmentent légèrement en 1958 (37%), diminuent en 1976 (31%) pour atteindre finalement 33% en 1981 et 37% en 1999. Leur proportion respective a, elle aussi, sensiblement changé. En 1952, les friches et landes représentaient les deux tiers de cet ensemble, soit un quart du Stang Varric. A partir de 1976, ce sont les boisements qui couvrent les deux tiers de cet ensemble. En 1981 et 1999, les superficies gagnées s'expliquent surtout par l'augmentation des surfaces boisées. Les cartes d'occupation du sol facilitent la compréhension des évolutions observées (figure 61 p. 134). En 1952, les friches et landes et les boisements étaient localisés sur les versants et positions sommitales, les surfaces en herbe essentiellement dans les fonds de vallées, et les cultures sur les parties du bassin versant correspondant aux espaces les moins accidentés. Cette logique spatiale est la même en 1958, certaines zones boisées ayant effectivement subi des coupes, se transformant en friches ou en landes. Même si l'année 1976 ne permet pas d'étudier l'évolution spatiale des surfaces en herbe et des surfaces cultivées, on constate que nombre de friches et landes ont évolué en espaces boisés, composés d'une proportion non négligeable de plantations de résineux. On observe aussi au sein des parcelles cultivées ou en herbe, des friches de petite taille, de forme arrondie. Elles correspondent à des amoncellements de souches résultant des remembrements. En 1981, la répartition des surfaces en herbe a changé : elles sont principalement localisées sur des espaces qui étaient cultivés dans les années 1950. Elles restent relativement dispersées. En 1999, les surfaces boisées augmentent au détriment des friches principalement à la lisière du plateau, ainsi que sur les versants les plus escarpés, au sud. La surface des terres cultivables, correspondant aux cultures et aux surfaces en herbe, baisse de façon peu significative, mais on observe essentiellement un recul du morcellement entre parcelles cultivées et prairies.

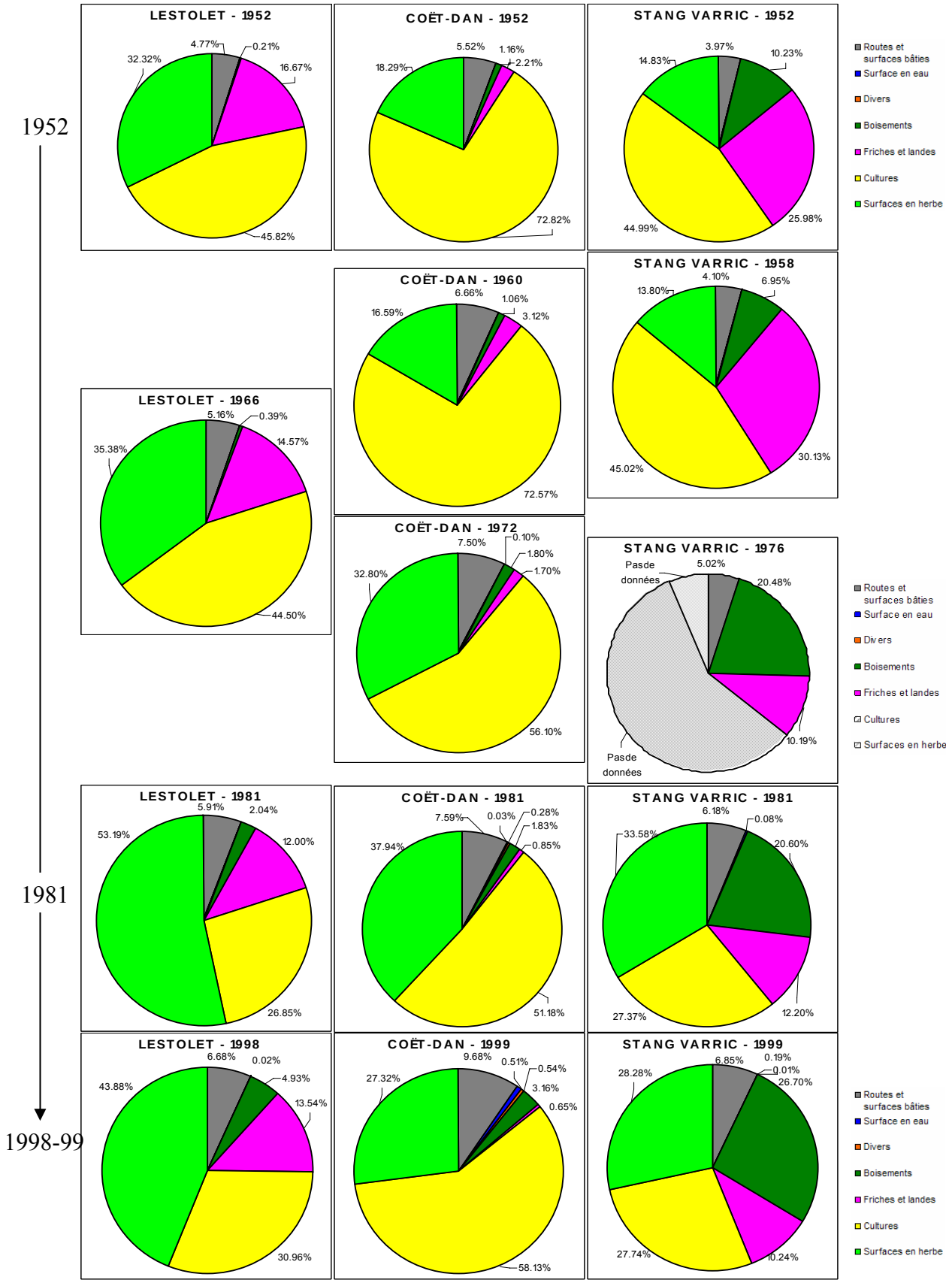


Figure 58. Répartition des classes d'occupation du sol depuis 1952 par bassin versant

Figure 59. Cartographie des classes d'occupation du sol depuis 1952 sur le bassin versant du Lestolet

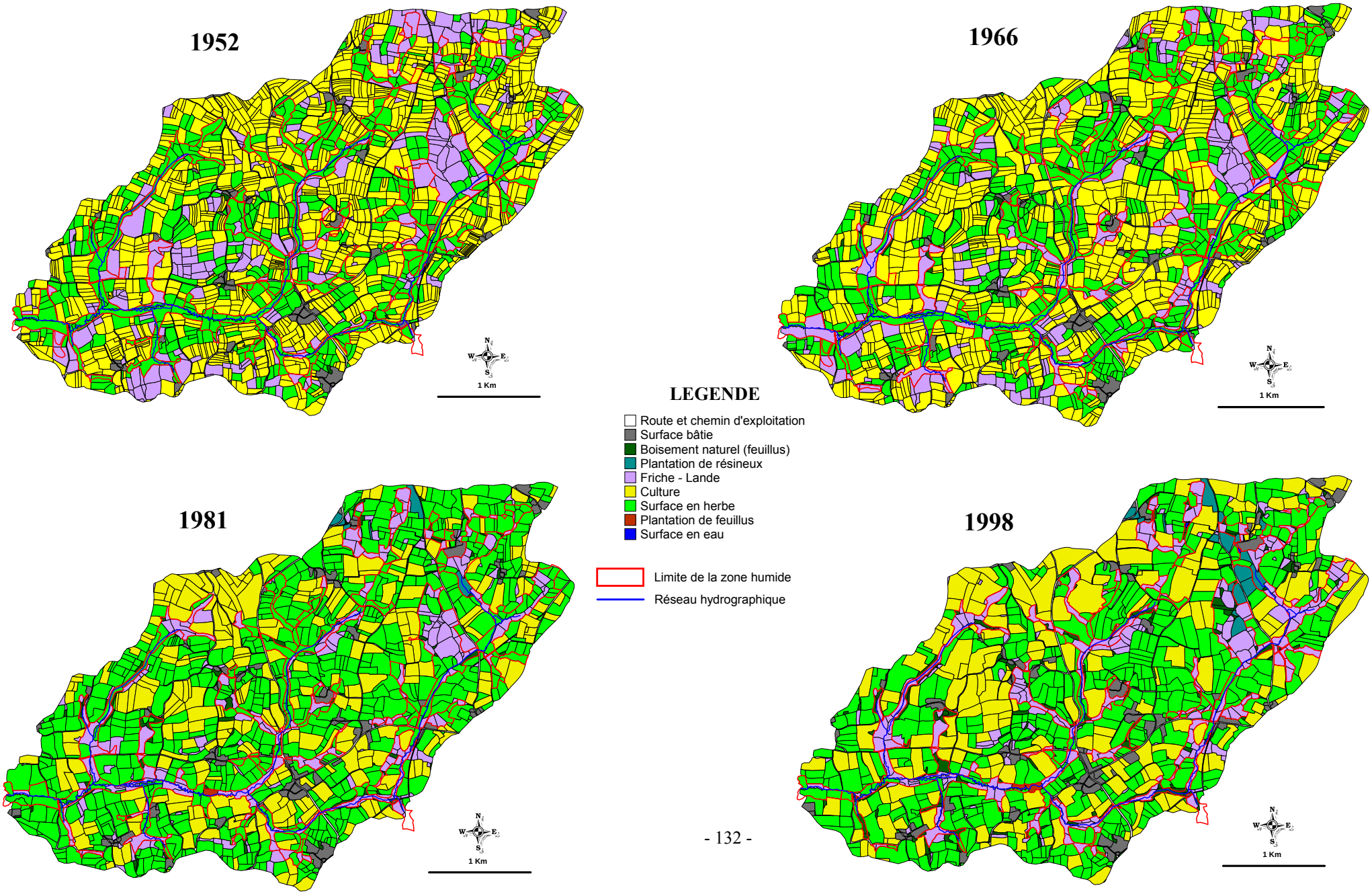


Figure 60. Cartographie des classes d'occupation du sol depuis 1952 sur le bassin versant du Coët-Dan

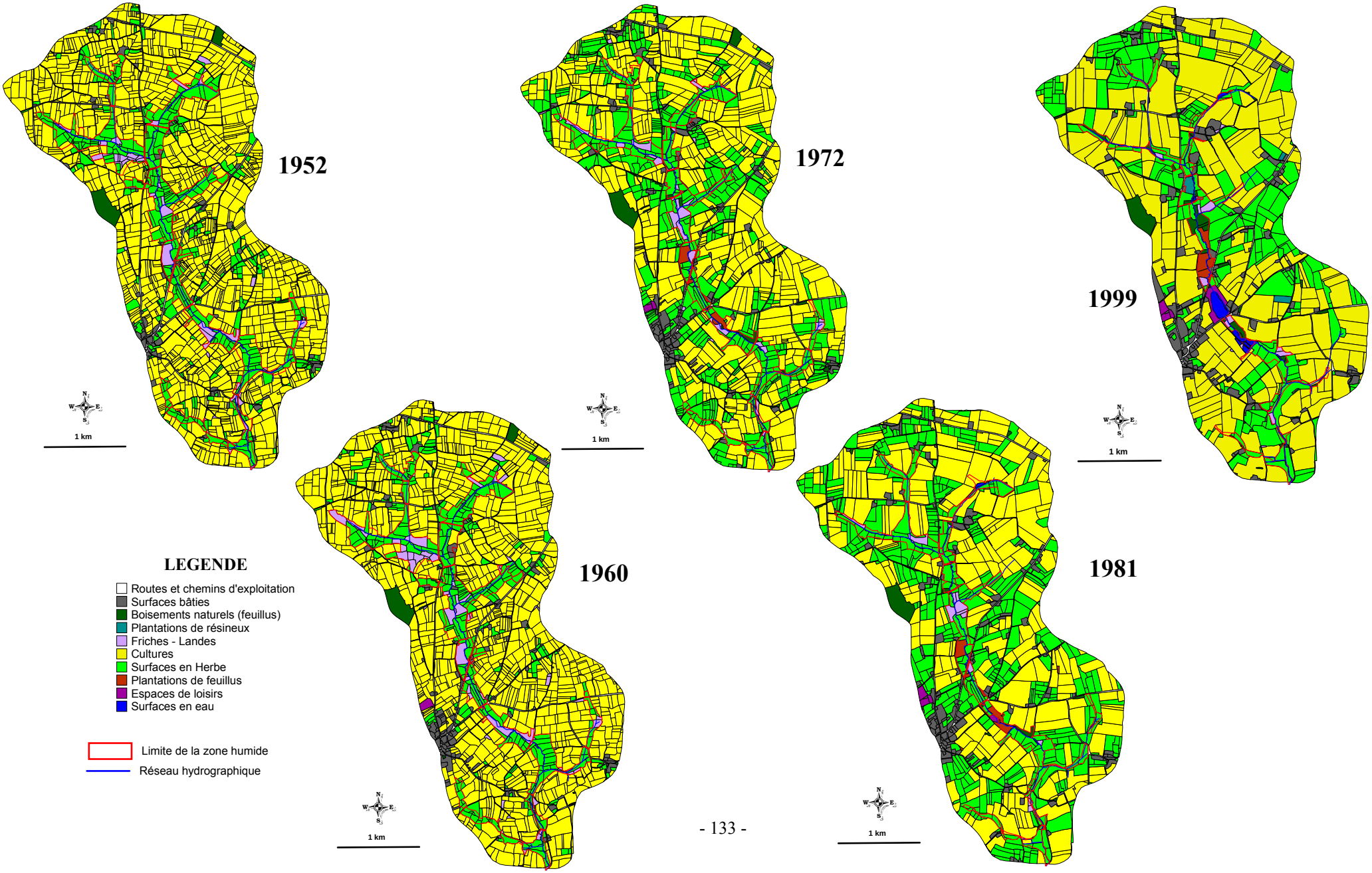
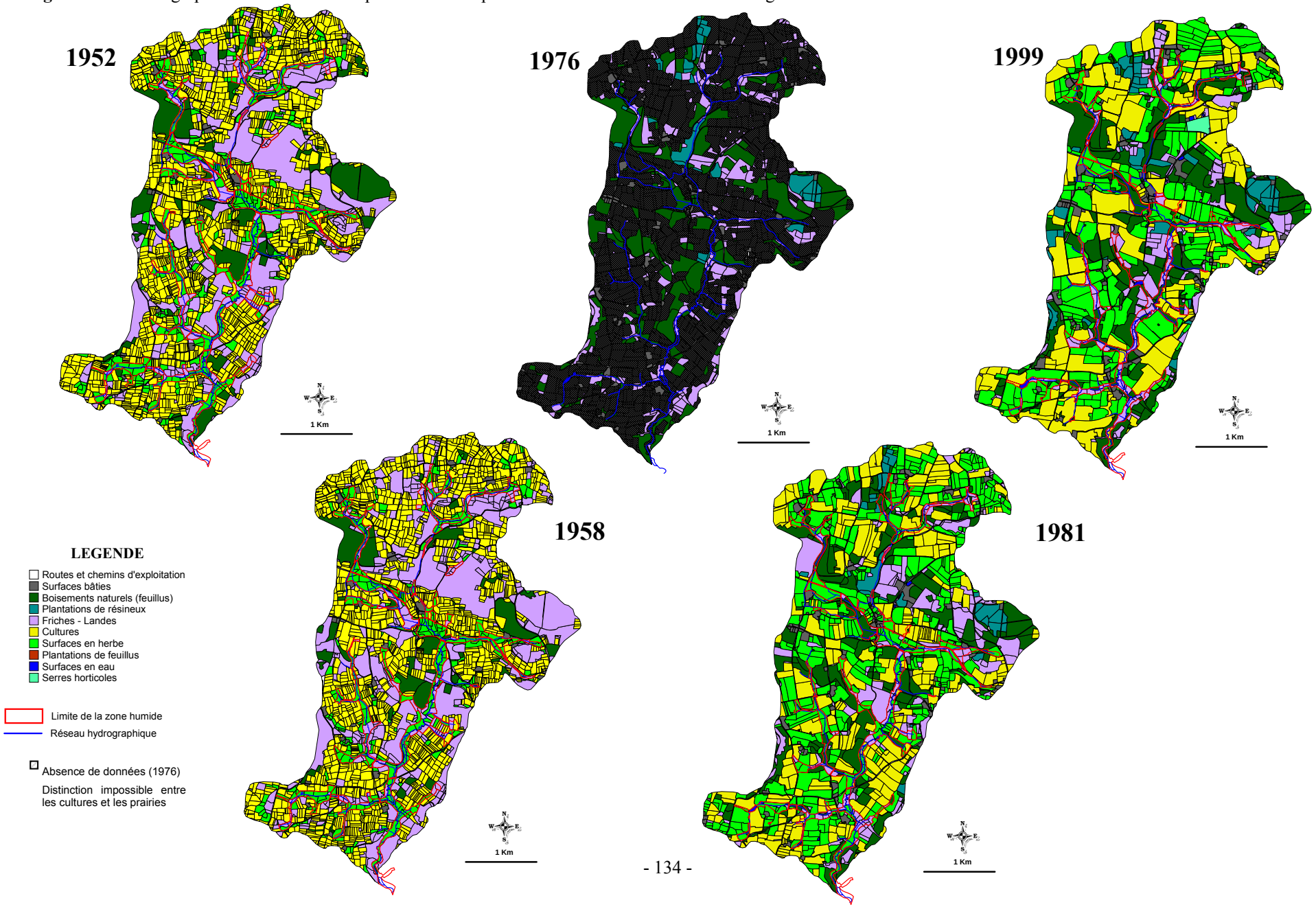


Figure 61. Cartographie des classes d'occupation du sol depuis 1952 sur le bassin versant du Stang Varric



Ainsi, la figure 62 montre que la baisse des cultures par rapport aux surfaces en herbe s'amorce à la fin des années 1960 après une progression des cultures jusqu'à la fin des années 1950. Cette baisse très marquée durant les années 1970 fait passer les proportions de 1 ha de prairies pour 4.4 ha de cultures sur le Coët-Dan à 1ha de prairies pour 1,5 ha vers 1975. L'équité entre cultures et prairies est même atteinte sur le Lestolet vers 1974 et sur le Stang Varric à la fin des années 1970. Les prairies deviennent alors majoritaires. 1981 est l'année où les valeurs du ratio sont les plus faibles. Le Lestolet possède alors 2 ha de prairies pour 1 ha de cultures. A partir de 1981, la proportion de cultures augmente légèrement, et de façon plus marquée pour le bassin versant du Coët-Dan.

L'évolution du ratio « cultures / surfaces en herbe » témoigne d'une véritable mutation dans le mode d'utilisation des parcelles agricoles pour chaque bassin versant. Cette tendance s'inverse à partir du début des années 1980, et le Coët-Dan est le plus précoce dans ce changement d'utilisation des terres agricoles.

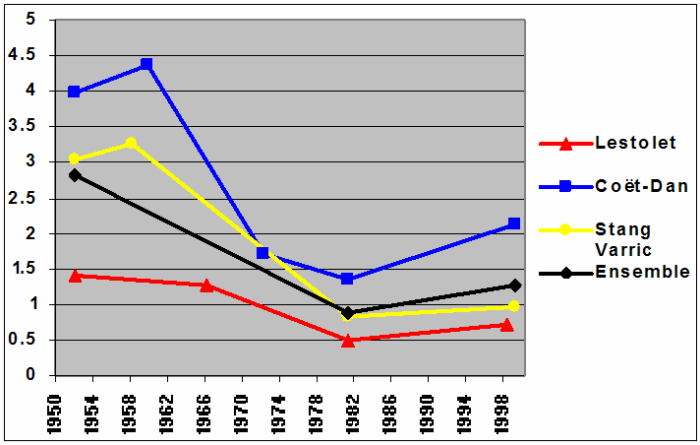


Figure 62. Evolution du ratio « cultures / surfaces en herbe » depuis 1952 sur les trois bassins versants

Si l'évolution de l'occupation des sols suit une trajectoire globalement commune sur les trois bassins versants, des disparités importantes existent cependant, tant dans les surfaces occupées par classe d'occupation des sols que dans leur répartition au sein du bassin versant.

La régression de la SAU et la disparition du complantage

Malgré une baisse généralisée du ratio « SAU / non SAU » pour les trois bassins versants, le Coët-Dan a toujours présenté une proportion de SAU beaucoup plus importante que les deux autres bassins versants. Il fait aussi l'objet de la plus forte régression de la SAU qui s'opère à partir de la fin des années 1970 pour les deux autres bassins versants. La baisse du ratio « SAU / non SAU » est très peu marquée sur le Stang Varric.

La pratique du complantage en 1952 était très différente selon les bassins versants. Le Lestolet n'a véritablement jamais fait l'objet de ce type de pratique agricole : le Coët-Dan observait une pratique du complantage sur 30% de sa SAU ; celle du Stang Varric était quasiment entièrement concernée (80%). La région de Plouay était autrefois une région productrice de cidre. Une rapide régression s'amorce dès la fin des années 1950 sur le Coët-Dan et le Stang Varric. Elle s'accélère dans les années 1970, probablement en raison des remembrements. Le Coët-Dan ne possède en 1972 que des résidus de complantage. En 1981, 11% de la SAU du Stang Varric est encore complantée, contre 23% en 1976.

A travers les matrices de transition : une très forte mobilité inter-parcellaire

L'analyse spatio-temporelle de l'évolution des principales classes d'occupation des sols de chacun des bassins versants a été effectuée à partir du calcul de matrices de transition (Eastman, 2003). Elle permet de mettre en évidence des changements spatio-temporels non perceptibles via des indicateurs statistiques classiques.

Trajectoires d'évolution pour le Lestolet

La figure 63 montre que la moitié des surfaces cultivées présentes en 1952 ont évolué en surfaces en herbe en 1998, 268 ha étant restés cultivés. 186 ha de prairies en1952 sont restés stables, et 117 ha se sont transformés en friches en 1999. Une grande partie de ces prairies, situées en fonds de vallées en 1952, étaient permanentes. Leur évolution en friches témoigne d'une absence de gestion de ces espaces. L'augmentation des surfaces en herbe s'est faite principalement sur des espaces anciennement cultivés et dans une moindre mesure sur d'anciennes friches ou landes. Seulement 23% des friches et landes sont restées stables, et près de 65% (140 ha) font partie de la SAU.

L'évolution des friches et landes montre que c'est l'utilisation des différents espaces du bassin versant qui a été modifiée : les fonds de vallées ont été délaissés au profit des versants.

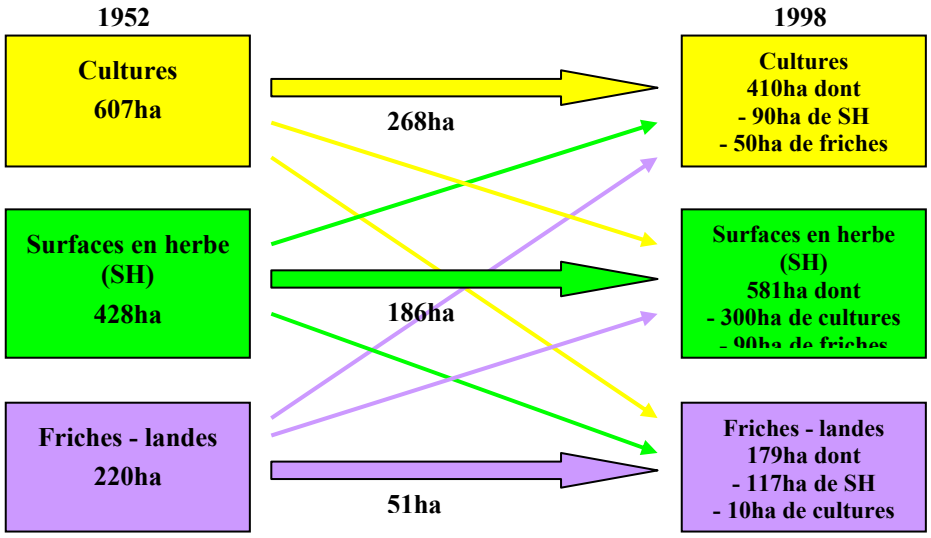


Figure 63. Evolution de la répartition des grands types d'occupation des sols (cultures, surfaces en herbe, friches) sur le bassin versant du Lestolet

Trajectoires d'évolution pour le Coët-Dan

La figure 64, issue de l'analyse des matrices de transition, suit la logique observée sur le Lestolet. La plupart des surfaces en herbe en 1952 étaient des prairies permanentes de fonds de vallées. 38% de ces prairies sont restées stables, alors que 38% sont cultivés en 1999. Le drainage des zones de fond de vallée explique donc l'extension des zones cultivées. La forte augmentation des surfaces en herbe concerne l'ensemble du bassin versant.

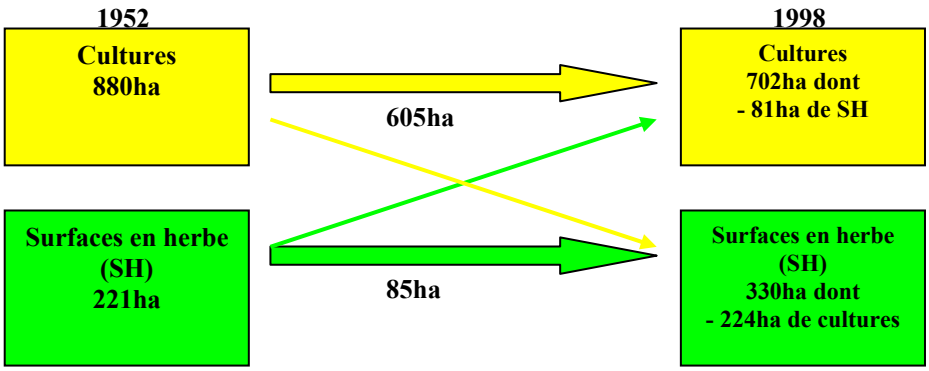


Figure 64. Evolution de la répartition des grands types d'occupation des sols (cultures, surfaces en herbe) sur le bassin versant de Coët-Dan

Trajectoires d'évolution pour le Stang Varric

Les trajectoires d'évolution des principales classes d'occupation du sol du Stang Varric peuvent se résumer de la façon suivante (figure 65) :

Les gains de surfaces en herbe se sont effectués principalement au détriment des surfaces cultivées en 1952 (plus de la moitié de la SH est concernée)

La superficie des friches et landes a été divisée par 2,5, au profit des surfaces boisées. Près de 55 à 60% des friches et landes en 1952 ont évolué en bois, ce qui représente à l'heure actuelle plus de la moitié des surfaces boisées.

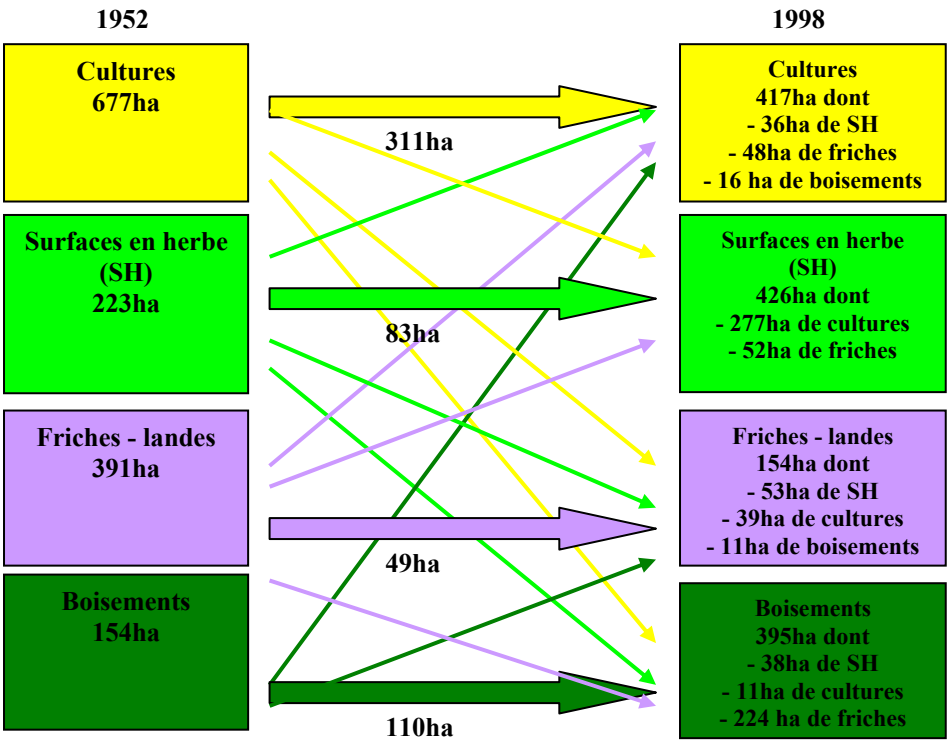


Figure 65. Evolution de la répartition des grands types d'occupation des sols (cultures, surfaces en herbe, friches, boisements) sur le bassin versant du Stang Varric

5.2.3.1.3. L'évolution des classes d'occupation des sols dans les zones humides de fonds de vallées

Les zones humides de fonds de vallées subissent une baisse importante des surfaces en herbe pour les trois bassins versants entre 1952 et 1998-99 (figure 66). Peu rapide jusqu'au milieu des années 1960, elle s'accélère dans les années 1970 et la régression est forte entre 1981 et 1999 (de -2 à -3% par an de la surface en herbe).

L'évolution des friches et landes est très différente selon le bassin versant considéré. Le Lestolet connaît une augmentation continue des friches sur la période d'observation. Elles croissent sensiblement sur le Coët-Dan jusque dans les années 1960 pour ensuite diminuer de façon continue. Elles perdent environ la moitié de leur surface tous les dix ans jusqu'en 1981. Les friches du Stang Varric perdent environ 1% de leur surface chaque année entre 1952 et 1981 et augmentent à partir de 1981 de 2% par an. Enfin, les boisements, inexistants avant les années 1970, croissent sensiblement depuis 1981 pour couvrir près de 30% de la superficie des zones humides du Coët-Dan et du Stang Varric, dont la superficie totale baisse en parallèle.

Les bassins versants du Lestolet et du Stang Varric connaissent un véritable changement des types d'occupation du sol au sein de leur zone humide. Les surfaces en herbe ont largement évolué en friches pour le premier, et en friches et en boisements pour le second. Ceci témoigne d'une modification dans l'utilisation de ces espaces : utilisées à des fins agricoles (pâtures) dans les années 1950, elles deviennent ou délaissées, ou exploitées de façon très différente : abandon pour le Stang Varric et le Lestolet, boisements volontaires ponctuels pour le Coët-Dan et le Lestolet.

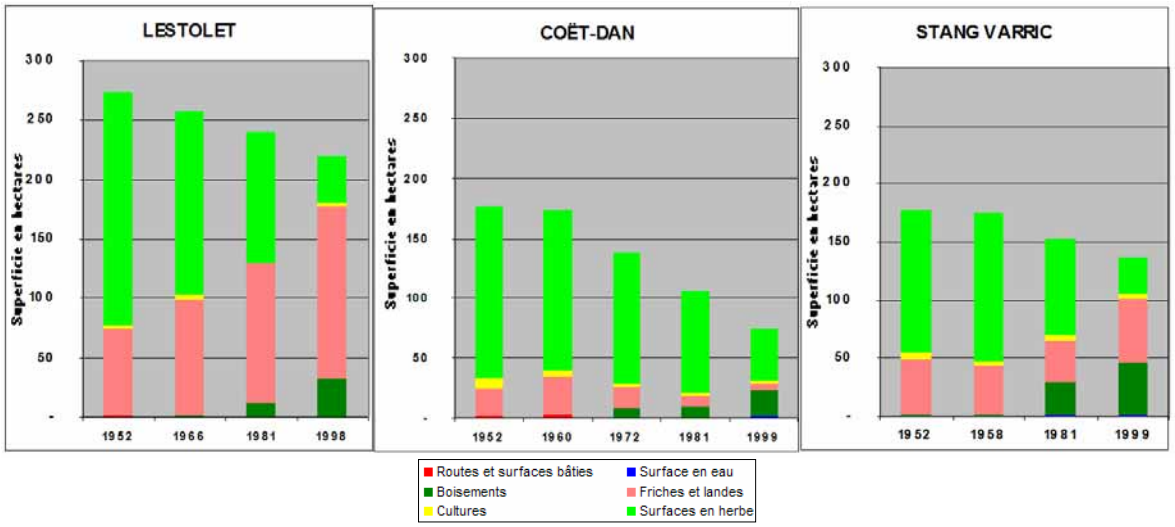


Figure 66. Evolution de la répartition des classes d'occupation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées depuis 1952 pour les trois bassins versants

5.2.3.2. Les trajectoires courtes sur la période 1996- 2002

La description des trajectoires courtes est effectuée à travers la présence de couverture hivernale sols et du ratio cultures/STH (Surfaces Toujours en Herbe), qui sont de bons indicateurs des changements de pratiques agricoles vis-à-vis des transferts de flux.

5.2.3.2.1. L'évolution des sols nus à peu couverts

L'évolution de la proportion de sols nus à peu couverts par rapport à la SAU sur les trois bassins versants s'effectue selon des trajectoires différenciées, l'évolution du Stang Varric et du Coët-Dan présentant cependant quelques similitudes (figure 67).

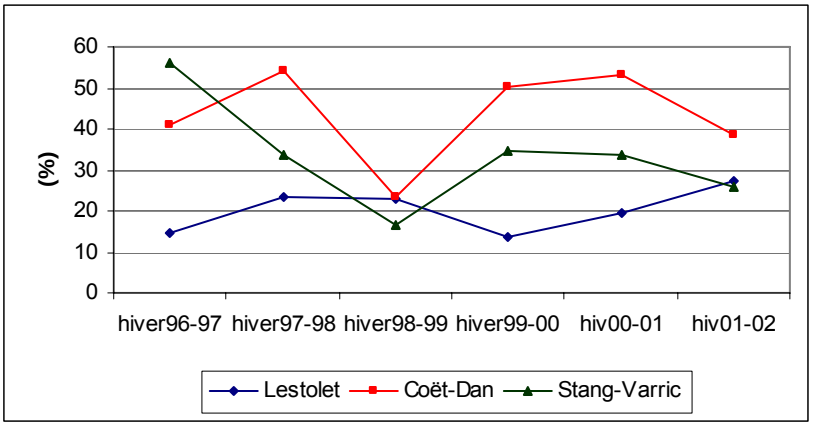


Figure 67. Evolution des sols nus à peu couverts en hiver depuis 1996 sur les 3 bassins versants (%/SAU)

Sur le bassin versant du Lestolet, la proportion de sols nus à peu couverts par rapport à la SAU atteint une moyenne de 20,1%, la valeur maximale se situant à 27,3% pour l'hiver 2001-2002 et la valeur minimum à 13,6% pour l'hiver 1999-2000. Cette faible proportion s'explique en partie par la date d'acquisition de l'image (mars), date à laquelle des cultures couvrent déjà sensiblement les parcelles. Ainsi, de nombreux sols nus à peu couverts détectés en hiver sont en réalité des céréales d'hiver qui en décembre ou janvier couvrent très faiblement les sols. Les surfaces détectées en sols nus à peu couverts peuvent varier de façon importante selon les hivers : 141 ha sont ainsi évalués en sols nus à peu couverts pour l'hiver 1999-2000 et 282 ha pour l'hiver 2001-2002. Les sols nus à peu couverts présentent d'une manière générale une faible fréquence de retour, à l'exception de quelques parcelles préférentiellement distribués sur la partie centre-nord du bassin versant (figure 68).

Sur le bassin versant du Coët-Dan, la proportion des sols nus à peu couverts par rapport à la SAU est plus importante, avec une moyenne de 43,4% (figure 68). La variabilité des surfaces en sols nus à peu couverts observée est également due aux dates d'acquisition des images mais surtout à une grande diversité de productions agricoles, incluant des céréales et des cultures légumières qui génèrent une forte fréquence de sols nus hivernaux, asssociée à une forte variablité. Ainsi, au cours de l'hiver 1997-1998 on observe 651 ha en sols nus à peu couverts et seulement 282 ha pour l'hiver suivant. La fréquence de retour des sols nus à peu couverts est assez importante sur ce bassin versant. Ils sont indifféremment répartis sur tout le territoire agricole (figure 68).

Concernant le bassin versant du Stang Varric, la moyenne de la proportion de sols nus à peu couverts par rapport à la SAU se situe, avec 33,5%, entre celles du Lestolet et du Coët-Dan. Comme le Coët-Dan, le Stang Varric connaît une forte variabilité de sa couverture hivernale, puisque l'on détecte 16,6% de sol nus pour l'hiver 1998-1999 contre 55,9% pour l'hiver 1996-1997. Les sols nus à peu couverts sont essentiellement regroupés sur deux secteurs, le nord et le sud du bassin versant (figure 68).

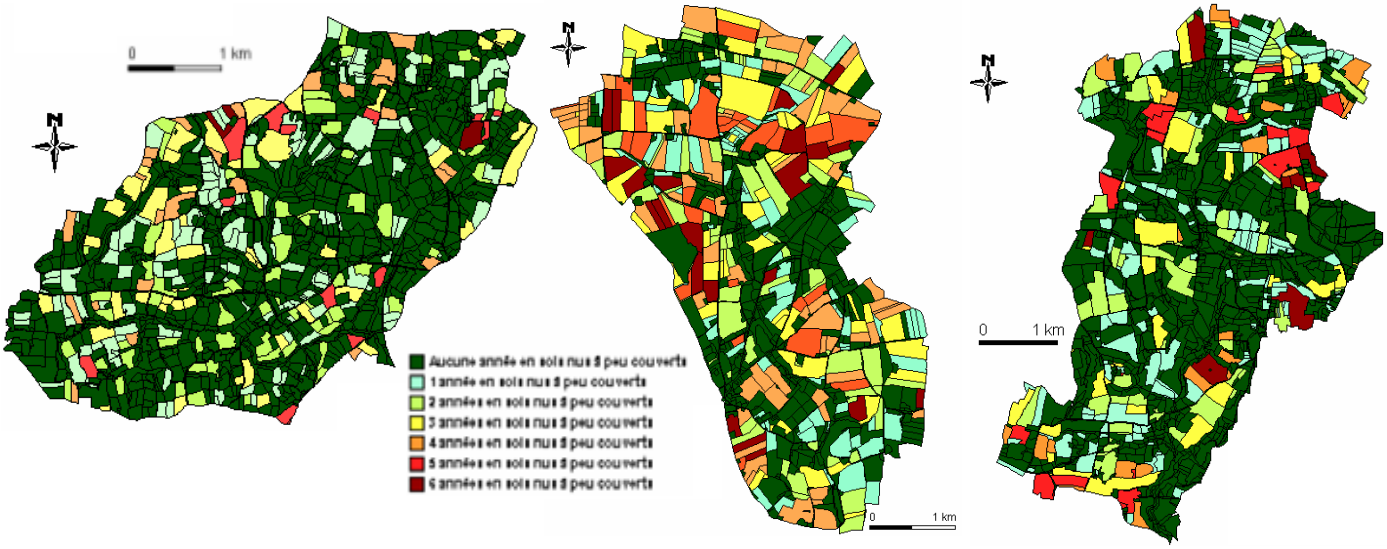


Figure 68. Cartographie de la fréquence de la présence de sols nus à peu couverts depuis 1996 sur les trois bassins versants (/ SAU)

Le croisement de l'ensemble des scènes d'hiver avec les données disponibles sur l'été permet :

- d'identifier les parcelles de sols nus suivis d'un maïs et d'en déterminer la fréquence sur la période d'étude lorsque les données sont spatialisées (Cas du Coët-Dan sur la période 1996-2002 et des deux autres bassins versants pour deux années culturales)

- d'estimer leur proportion à partir des données statistiques de la PAC en l'absence d'informations spatialisées (tiretés sur la figure 69).

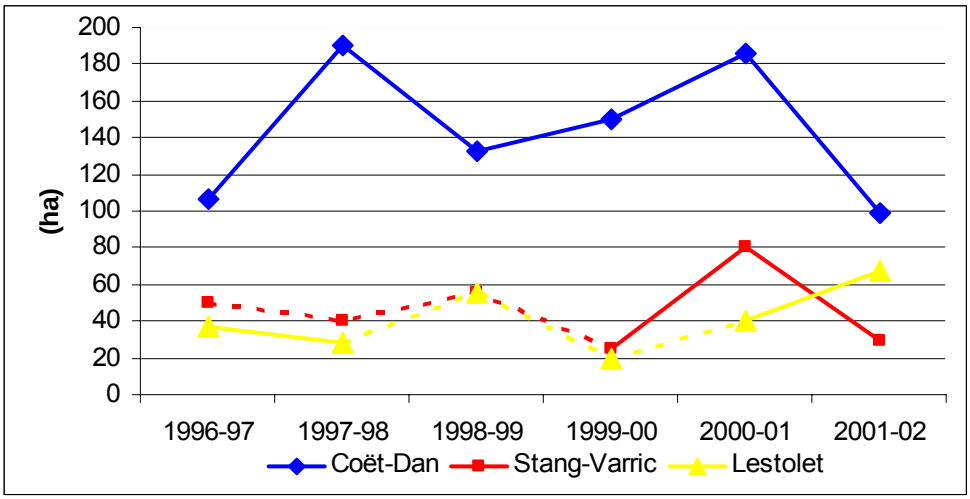
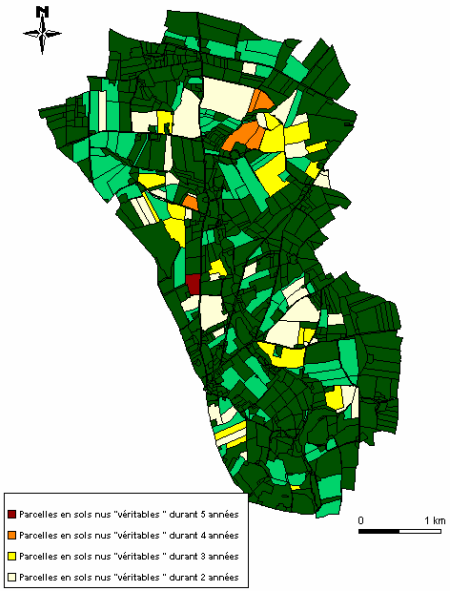


Figure 69. Evolution des sols nus « véritables » en hiver sur les 3 bassins versants (%/SAU)

Les sols nus suivis d'un maïs sont au moins deux fois plus importants sur le bassin versant du Coët-Dan que sur les deux autres. Toutefois, quelque soit le bassin versant considéré leur variabilité inter-annuelle est forte, en liaison avec les successions culturales et les conditions climatiques, en particulier pour l'hiver 2000-2001 (figure 69).



La répartition spatiale de la fréquence de sols nus suivis d'un maïs sur la période 1996-2002 sur le bassin versant du Coët-Dan est irrégulière : on observe seulement que les fréquences les plus élevées sont regroupées dans le partie nord du bassin versant (figure 70).

Figure 70. Cartographie de la fréquence de la présence de sols nus « véritables » depuis 1996 sur le bassin versant de Coët-Dan (/ SAU)

5.2.3.2.2. L'évolution du ratio cultures/SH

L'évolution des systèmes culturaux est évaluée à travers l'évolution du ratio cultures/SH (Surfaces en Herbe). La comparaison du ratio sur les trois bassins versants pour l'été 2002 montre que la part des céréales et du maïs, comparativement aux prairies, est beaucoup plus importante - 3 fois plus élevée - sur le Coët-Dan que sur les deux autres bassins versants (figure 71).

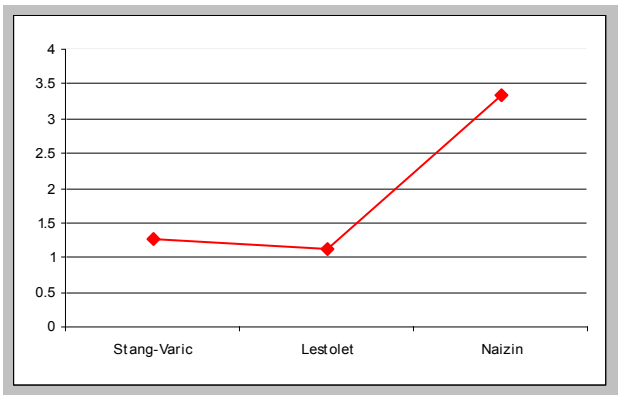


Figure 71. Comparaison des ratios Cultures/STH sur les 3 bassins versants étudiés pour l'été 2002

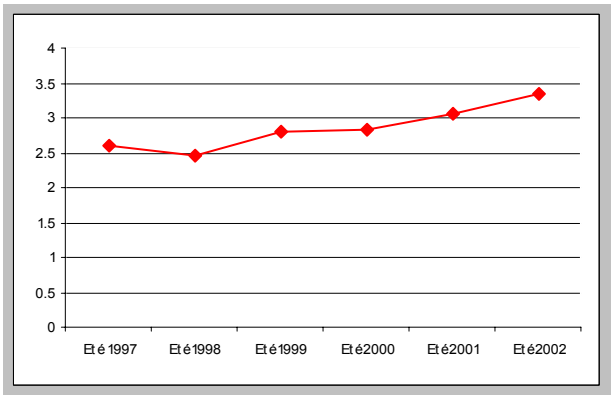


Figure 72. Evolution du ratio Cultures/STH sur le bassin versant du Coët-Dan (1996-2002)

On note une augmentation sensible, régulière et continue de ce ratio sur le bassin versant du Coët-Dan sur la période 1997-2002 (figure 72). Cette augmentation est à mettre en relation avec la part croissante des céréales sur ce bassin versant.

5.3. Conclusion partielle

L'évolution de l'occupation des sols et des structures paysagères depuis les années 1950 a été déterminée sur les trois sites d'étude à partir d'une série de descripteurs dérivés

essentiellement de données de télédétection. Des missions aériennes ont été utilisées pour déterminer les changements d'utilisation des sols et les transformations paysagères à un pas de temps quasi-décennal pendant la période 1952-1999, tandis qu'une série d'images satellitaires a servi à mettre en évidence des variations de la couverture hivernale des sols par la végétation et des successions culturales à un pas de temps annuel (1996-2002). L'analyse des résultats a permis de retracer comparativement les trajectoires d'utilisation des terres depuis un demi-siècle sur ces trois sites (figure 73).

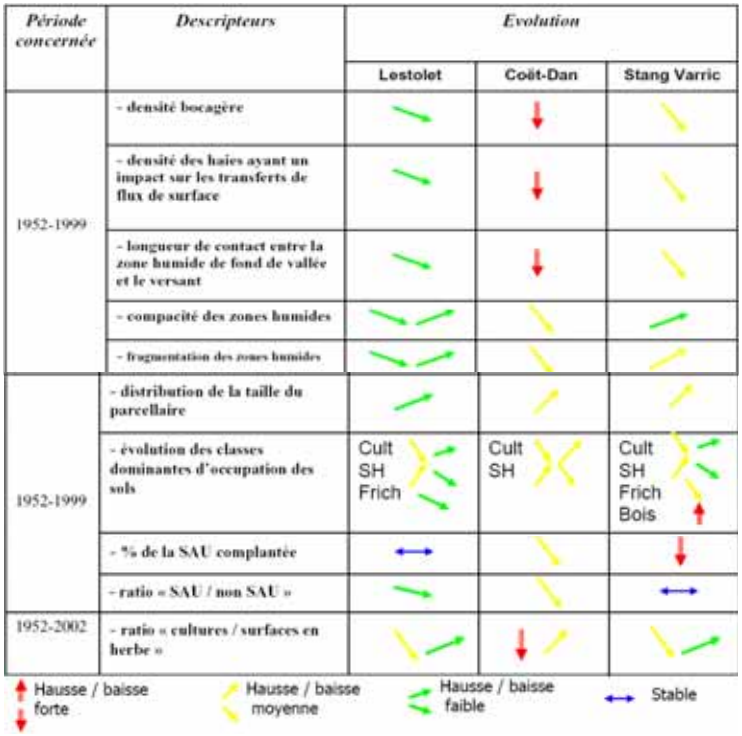


Figure 73. Synthèse des trajectoires d'utilisation des terres sur les sites d'études depuis 1952

Il apparaît que, si ces territoires ont connu globalement des évolutions communes, tant au niveau de la transformation des structures paysagères (régression du réseau bocager, drainage des zones humides) que des changements dans les modes d'occupation des sols (diminution des cultures au profit des prairies), l'ampleur et le rythme de ces changements diffèrent d'un site à l'autre, et parfois très sensiblement. Ceci explique les différences observées actuellement tant dans la part occupée par les différents éléments du paysage et par les cultures que dans leur répartition spatiale.

L'analyse détaillée réalisée sur les trois bassins versants a également permis de mettre en évidence des transformations et changements divergents d'un site à l'autre (boisements *versus* extension des espaces cultivés, production de cultures diversifiées *versus* herbages dominants…). L'ensemble de ces évolutions contrastées génère des conditions de transfert de flux d'eau et de polluants différents au sein des bassins versants, certaines agissant comme un frein avec un rôle de tampon, d'autres comme un accélérateur favorisant les écoulements.

Dans la démarche d'élaboration de « la base » nécessaire à la construction des scénarios, la reconstitution des trajectoires d'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères est suivie de l'identification et de la hiérarchisation des facteurs explicatifs des changements observés.

CHAPITRE 6 - Les facteurs explicatifs des changements d'occupation des sols et des structures paysagères

L'objectif de ce chapitre est de déterminer les facteurs qui expliquent les changements des structures paysagères et des modes d'occupation des sols observés dans le chapitre précédent, d'évaluer leur poids respectif dans les processus d'évolution et de les représenter spatialement. L'identification et l'analyse de ces facteurs ainsi qu'une réflexion sur les facteurs susceptibles d'intervenir dans le futur permettront de dégager les variables-clés qui contribueront à la construction des scénarios prospectifs spatialisés.

La détermination des facteurs de changements passés et actuels est effectuée à partir d'un travail participatif réunissant des acteurs et décideurs locaux ainsi que des experts. Complété par une série d'entretiens, il permet le recensement de l'ensemble des facteurs et leur formalisation sous la forme d'une représentation systémique. Les données disponibles décrivant ces facteurs sont ensuite recueillies afin de traduire ces facteurs spatialement à une échelle locale et à l'échelle communale, et de les hiérarchiser par deux approches différentes, qualitative à l'échelle locale et quantitative à l'échelle communale.

Ce chapitre synthétise le rapport détaillé d'une étude contractuelle menée pour le compte de l'Institution Interdépartementale du SAGE Blavet (Houet et Hubert-Moy, 2004). Le lecteur pourra s'y rapporter pour de plus amples détails sur la méthodologie ou les résultats obtenus.

6.1. Méthodologie

La méthodologie employée comprend trois étapes successives : (1) L'identification et l'analyse des facteurs explicatifs des changements observés par le biais d'une réunion participative, de la mobilisation d'experts et d'une modélisation systémique ; (2) La spatialisation de ces facteurs, à partir de l'inventaire des données disponibles et de la recherche de descripteurs pertinents ; et (3) La hiérarchisation des facteurs par deux approches différentes, l'une qualitative, l'autre quantitative.

6.1.1. L'identification des facteurs de changements

6.1.1.1. La réflexion participative

Une réunion d'expertise a été organisée à Pontivy le 14 Octobre 2003 par le laboratoire COSTEL, en partenariat avec l'Institution Interdépartementale du SAGE du Blavet et Xavier Poux de la Société AScA. Le groupe de réflexion était composé d'un *corpus* d'experts et d'acteurs locaux (annexe 8). Les objectifs de cette réunion étaient : (1) d'identifier les facteurs de changements d'occupation des sols et des structures paysagères intervenus entre 1952 et 2003 ; (2) de hiérarchiser ces facteurs ; (3) de définir les échelles auxquelles s'expriment ces facteurs (exploitation agricole, bassin de production, commune, région, Etat, Europe…) ; et

(4) d'identifier des tendances d'évolution envisageables dans le futur. Cette réflexion participative a permis de retracer les évolutions des sites d'études sous la forme de récits qui seront utilisées dans le chapitre 7.

6.1.1.2. Les entretiens

La liste des facteurs de changements déterminés à partir de la réflexion participative a ensuite été complétée par la bibliographie et des entretiens. Ces entretiens visent à définir et analyser l'ensemble de ces facteurs et à évaluer *a priori* leurs conséquences directes et/ou indirectes sur les structures paysagères et les modes d'occupation des sols.

Les récits d'évolution et les facteurs déterminés à partir de la réflexion participative ont ainsi été exposés lors d'entretiens avec deux experts : Bernard Clément de l'Université de Rennes 1, expert européen sur les zones humides, et Corentin Canévet de l'Université de Rennes 2, spécialiste de l'agriculture bretonne. Les remarques et commentaires de ces experts sont pris en compte lors de l'élaboration de la liste commentée des facteurs, et de l'analyse de leurs interrelations à travers l'analyse systémique.

6.1.1.3. L'analyse systémique

L'analyse systémique a pour intérêt d'appréhender un territoire comme un système dynamique, permettant de comprendre, dans le cadre d'une approche globale, les mécanismes de la dynamique des activités humaines dans un espace géographique (Durand, 1983). La détermination, par cette approche, des relations existant entre les facteurs de changements fournit une clef de lecture indispensable à l'interprétation des changements observés. Elle permet notamment l'analyse comparative de l'influence d'un facteur sur les trois sites d'étude. Cette approche a été expertisée par Jean-Pierre Marchand, de l'Université de Rennes 2, spécialiste en analyse systémique.

6.1.2. La spatialisation et la validation des facteurs de changements

La spatialisation des facteurs de changements est nécessaire pour valider les facteurs identifiés à dire d'experts, désigner les variables influant prioritairement sur les évolutions constatées, et *in fine* construire les scénarios prospectifs.

6.1.2.1. Le recensement des données disponibles

L'ensemble des facteurs identifiés sont de nature très différente : ils peuvent être d'ordre qualitatif ou quantitatif, intervenir ponctuellement dans le temps ou agir sur plusieurs années ou décennies, et avoir une influence sur l'ensemble de la période d'étude ou sur une partie seulement de cette période. Les données nécessaires à l'élaboration des descripteurs de ces facteurs sont donc très variées.

6.1.2.2. Les descripteurs

Les facteurs identifiés ont une origine locale (parcelle agricole, exploitation ou groupement d'exploitations agricoles, commune, bassin versant), ou infra-régionale (bassin de vie, bassin de production,…), ou encore nationale ou internationale. Deux niveaux de représentation se dégagent :

- Un niveau local, compatible avec le niveau de précision des descripteurs des modes d'occupation des sols et des structures paysagères structurés au sein de SIG sur les trois sites.

Il s'agit essentiellement de descripteurs relevant du milieu physique ou des exploitations agricoles.

- Un niveau communal, qui permet de replacer les changements observés sur les trois sites dans le cadre de l'évolution de l'ensemble du bassin versant du Blavet. En l'occurrence, aucun facteur explicatif de l'évolution des modes d'occupation des sols ne peut être traduit à l'échelle locale, car seules des données acquises à une échelle communale existent sur ce thème. Comme ces données communales ne permettent pas de valider les indicateurs d'évolution déterminés à l'échelle locale, la démarche adoptée a consisté à traduire les indicateurs définis lors du chapitre précédent à l'échelle communale.

6.1.2.3. La validation des facteurs

Afin de valider les facteurs de changements des modes d'occupation des sols et des structures paysagères identifiés à dire d'experts, deux méthodes sont utilisées. La première concerne les données structurées à une échelle communale : elle consiste à calculer un coefficient de corrélation entre le descripteur du facteur et le descripteur de l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères. La seconde concerne les données spatialisées à une échelle locale : elle consiste à calculer une matrice de confusion avec le SIG, en croisant les données spatialisées du facteur explicatif avec les données d'occupation du sol et des structures paysagères.

6.1.3. La hiérarchisation des facteurs de changements

6.1.3.1. Approche qualitative

Elle est effectuée par une analyse croisée des facteurs à partir des résultats issus des récits, de l'analyse systémique, et des représentations spatialisées et validées des facteurs de changements. Elle doit permettre (1) de dégager des principaux facteurs explicatifs des changements par site pour chaque période et par thème; (2) de définir les facteurs actuellement prépondérants, ceux qui ne sont plus actifs, ou encore ceux dont l'influence sur l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères croît ou décroît.

6.1.3.2. Approche quantitative

La hiérarchisation quantitative des facteurs de changements n'est réalisable que lorsque le descripteur de l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères est à la même échelle spatio-temporelle que le descripteur des facteurs explicatifs des changements. La détermination du poids respectif des facteurs influençant l'évolution des modes d'occupation des sols est donc effectuée exclusivement sur les descripteurs à l'échelle communale, à travers une régression multiple standard appliquée à chacune des dates d'observation de l'évolution. Trois résultats de la régression multiple nous intéressent :

- la corrélation multiple (R) : c'est un indice standardisé qui évalue la force de la relation entre l'ensemble des variables indépendantes (explicatives) et la variable dépendante (à expliquer, c'est-à-dire l'occupation des sols). Plus la valeur est proche de 1, plus les variables indépendantes expliquent la variable dépendante.

- le coefficient standardisé BETA : il permet de comparer la contribution des variables.

- la valeur du test T : elle indique si la variable est significative, quelle que soit sa contribution. Pour être significative, la valeur doit être supérieure à +/- 2, ou avoir une valeur de signification inférieure à 0,01.

6.2. Résultats

6.2.1. Les facteurs de changements passés et actuels

Les facteurs de changements ont été identifiés à partir des récits d'évolution (annexe 9) construits lors de la réflexion participative avec le groupe d'experts et d'acteurs (annexe 8), complétés avec les entretiens réalisés auprès des deux experts d'une part et la bibliographie d'autre part. L'analyse des relations entre les différents facteurs, effectuée à travers l'analyse systémique, est ensuite exposée.

6.2.1.1. L'inventaire des facteurs des changements

Le recensement de l'ensemble des facteurs influant sur l'évolution passée et actuelle du bocage, des zones humides et des modes d'occupation des sols est présenté et commenté ci-après. Les facteurs potentiels de changements futurs, qui entreront dans l'élaboration des scénarios spatialisés, sont ensuite exposés.

Les facteurs des changements du réseau linéaire boisé, des zones humides et des modes d'utilisation des sols sont successivement identifiés et commentés dans les tableaux suivants.

6.2.1.1.1. Les facteurs de changements du réseau bocager

Facteurs	*Commentaires*
Innovations techniques	
Motorisation / mécanisation	Il est fait allusion ici à la diffusion des véhicules d'exploitation agricole (tracteurs, moissonneuses…). Le cadre des structures agraires n'était plus adapté aux nouvelles conditions techniques de l'époque, « le réseau serré des mailles du bocage, ses chemins étroits, devenaient gênants et pouvaient dans certains cas rendre impossible toute innovation. […] D'où la conscience que les pièces de terre devaient s'adapter aux conditions nouvelles de la mécanisation. Les chemins enclos traditionnels qui laissaient encore passer les faneuses ou les petites arracheuses de pommes de terre, sont trop étroits pour les semoirs et épandeurs d'engrais, les épandeurs de pesticides, etc. » (Flatrès, 1979)
Diffusion électricité	La diffusion de l'énergie électrique a réduit les avantages du bocage. « La généralisation du gaz butane, l'adoption par certains de cuisinières électriques supprimèrent la nécessité de conserver sur la ferme une source de bois de feu » (Flatrès, 1979). L'intérêt du bois de chauffage baissant, l'entretien du bocage ne devient plus nécessaire.
Potentiel de diffusion des progrès techniques	L'appartenance d'un exploitant à un CETA (Centre d'Etudes Techniques Agricoles), une CUMA (Centre d'Utilisation de Matériel Agricole) ou à un GVA (Groupement de Vulgarisation Agricole) le rend plus susceptible d'être informé des innovations techniques (pratiques culturales, matériels…)
Sociologie et démographie	
Nombre agriculteurs	La baisse du nombre d'agriculteurs engendre une perte de main d'œuvre nécessaire à l'entretien du bocage, et par corollaire une perte de savoir-faire (entretien/gestion des haies).
Perception du maillage bocager	L'évaluation de l'utilité de la haie et du temps nécessaire à son entretien conditionne son maintien : la haie ne reste en place que si elle est perçue comme étant utile. Par exemple, les haies bordant des prairies sont considérées plus utiles que les haies entourant des cultures.
Foncier	
Aménagement foncier	Les procédures d'aménagement sont diverses et nombreuses : échanges amiables, remembrement, remembrement-aménagement, réorganisation foncière, échanges d'immeubles ruraux, … (Gilardeau, 2000) L'aménagement foncier a longtemps rimé avec remembrements et arasements massifs. Il s'agissait alors d'un outil dont l'objectif était « d'améliorer les structures d'exploitations en vue d'optimiser les conditions d'exploitation entre autres par le regroupement des parcelles autour des sièges d'exploitations ou par l'agrandissement du parcellaire » (Grouazel, 2002). Ils ont permis une refonte territoriale complète du parcellaire agricole. Les remembrements plus récents visent essentiellement un échange de parcelles. Un regroupement parcellaire facilite l'arasement des haies issu alors d'initiatives individuelles. L'aménagement foncier intègre depuis quelques années les questions de protection des haies et talus (Renforcement des interdits en matière d'arrachage, de coupe d'arbres et de haies, lois sur l'aménagement foncier et rural du 31 décembre 1985).
Propriété foncière	Un exploitant agricole a l'obligation, comme il est indiqué dans le bail de fermage, d'entretenir les haies des parcelles qu'il loue au moins une fois tous les neuf ans.
Réglementaire	
LOA 1960-62	L'Indemnité Viagère de Départ (IVD) et les SAFER (Société d'Aménagement Foncier et d'Etablissement Rural) mises en place par les LOA de 1960-62 favorisent un agrandissement des structures d'exploitations agricoles, corrélé à une baisse du nombre d'agriculteurs.
Réforme PAC 92	Les haies qui ont une largeur supérieure à 4m sortent de la surface emblavée et diminuent les surfaces éligibles pour les primes, d'où un risque très fort d'arasement.

Bretagne Eau Pure	Ce programme incite, par des moyens humains, matériels et financiers, les agriculteurs volontaires à avoir des pratiques visant la préservation de la qualité de l'eau (entretien des haies et talus).
Politiques de préservation/replantation	Ces politiques sont liées à une demande sociale en matière de loisirs, de préservation du paysage et d'environnement (programme HARMONIE, Conseils Généraux). Le programme Harmonie (Région) permet de financer des aménagements paysagers et vise la plantation de haies autour des bâtiments d'exploitation pour leur intégration dans le paysage (ADASEA 22, 2002 ; Grouazel, 2002). Le dernier programme HARMONIE 4 a la volonté de mettre en cohérence « la fonctionnalité de l'agriculture avec l'amélioration et la préservation du milieu naturel » (Ligneau, 2002)
CTE / CAD	Le volet environnemental des CTE propose des actions sur le bocage (plantation et entretien des haies, création de bosquets, création de talus, réhabilitation d'une haie, entretien régulier d'une haie…) (Grouazel, 2002)
Spatial	
Localisation	Les haies isolées, comme en témoigne l'érosion diffuse et continue du bocage, sont plus facilement arasées. L'éloignement au siège d'exploitation constitue une contrainte supplémentaire à leur entretien qui favorise leur arasement.
Réseau routier et surfaces bâties	Ces structures constituent une architecture « support » de la trame bocagère, soit héritée, soit générée pour des raisons paysagères et fonctionnelles. L'effet structurant du réseau et des surfaces bâties est à mettre en relation avec les programmes de replantation (HARMONIE).
Type d'occupation du sol	Les haies bordant des prairies ont tendance à être plus facilement préservées que celles bordant des cultures car elles jouent un rôle pour les cheptels qui pâturent.

6.2.1.1.2. Les facteurs de changements des zones humides

Facteurs	***Commentaires***
Innovations techniques	
Motorisation / mécanisation	Il est fait allusion ici à la diffusion des véhicules d'exploitation agricole (tracteurs, moissonneuses…). L'augmentation du poids des engins agricoles utilisés pour la gestion des zones humides (fauche) amène un abandon progressif de cette pratique en raison de sols hydromorphes présentant une portance insuffisante pour ce type d'engin.
Economie	
Système de production (OTEX)	L'évolution des types d'occupation des sols au sein des zones humides, traduisant soit un abandon, soit un mode de gestion, dépendent de l'OTEX (Orientation Technico-Economique des eXploitations). Les systèmes de productions nécessitant des pâturages et une production fourragère importante sont susceptibles d'utiliser ces espaces.
Sociologique	
Démographie	La baisse du nombre d'agriculteurs engendre une perte de main d'œuvre nécessaire à l'entretien et la gestion des zones humides, et par corollaire une perte de savoir-faire (modes de gestion).

Perception	La perception des zones humides a beaucoup évolué depuis les années 1950 : initialement utilisées comme pâturages, elles sont ensuite perçues comme sources de contraintes. C'est très récemment que la reconnaissance de leurs fonctions bio-géochimiques (épuration) et patrimoniales vont les valoriser dans un contexte de reconquête de la qualité de l'eau et du maintien de la biodiversité.
Foncier	
Opérations de drainage	Les opérations de drainage ont un impact direct sur l'étendue spatiale des zones humides. Elles ont pu être encouragées et financées dans certaines communes ; Elles peuvent aussi être issues d'initiatives individuelles. Elles sont réalisées essentiellement pour augmenter les surfaces cultivées.
Réglementaire	
Bretagne Eau Pure	Ce programme incite, par des moyens humains, matériels et financiers, les agriculteurs volontaires à avoir des pratiques visant la préservation de la qualité de l'eau (gestion des parcelles situées au sein de la zone humide de fonds de vallées)
CTE / CAD	Les zones humides ont pu être prises en compte dans la définition des CTE / CAD (Contrat d'Agriculture Durable) de façon à assurer une gestion de ces milieux.
Spatial	
Accessibilité des zones humides	Une accessibilité difficile, liée à une topographie contraignante (fortes pentes, vallées encaissées et étroites) et/ou à une hydromorphie marquée engendrant une faible portance des sols, a pu jouer dans le sens d'un abandon.

6.2.1.1.3. Les facteurs de changements de l'occupation du sol

Facteurs	***Commentaires***
Innovations techniques	
Diffusion eau / électricité	La diffusion de ce type d'énergies a permis de libérer une main d'œuvre agricole, et d'exploiter efficacement les nouvelles prairies temporaires. « La pose rapide des clôtures électriques permet de pouvoir jouir du système de la prairie temporaire avec toute la souplesse dont il est susceptible. Les bretonnants appelèrent cette clôture le *poatr saout*, c'est-à-dire le vacher, car elle rendait les mêmes services qu'autrefois le petit commis » (Flatrès, 1979).
Diffusion des progrès techniques	L'appartenance d'un exploitant à un CETA, une CUMA ou à un GVA le rend plus susceptible d'être informé des innovations techniques (pratiques culturales, matériels…)
Economie	
Types de production (OTEX)	L'occupation des sols est directement liée à l'Orientation Technico-Economique des eXploitations. Par exemple, une exploitation spécialisée dans un système « bovin » nécessite et utilise plus de surfaces en herbe qu'une exploitation orientée vers un système hors-sol porcin et/ou avicole.
Niveau d'intégration des exploitations	Le niveau d'intégration des exploitations dans l'économie de marché peut traduire l'influence des coopératives agricoles ou des industries agro-alimentaires à l'échelle locale qui se traduit par certains modes d'usage des terres (ex. légumes industriels).
Sociologie et démographie	

Nombre d'agriculteurs	Dans le cas d'une baisse du nombre d'exploitants, les terres libérées peuvent être abandonnées ou reprises, et par corollaire entraîner des changements d'occupation des sols.
Formation Agricole	Le niveau de formation agricole dispensé par la JAC ou encore à distance dans les années 1950-60, et son évolution expliquent en partie les changements de pratiques agraires. Les terres libérées peuvent dès lors être abandonnées ou reprises, et par corollaire entraîner des changements d'occupation des sols.
Foncier	
Propriété foncière	La reprise de terres par un exploitant agricole est potentiellement synonyme selon l'OTEX soit d'une extensification (augmentation des surfaces en herbe) dans le cas d'un système « bovin », ou d'une intensification (mises en cultures) dans le cas d'un système de type « hors-sol ».
Réglementaire	
LOA 1960-62	L'IVD et les SAFER mises en place par les LOA de 1960-62 favorisent un agrandissement des structures d'exploitations agricoles, corrélée à une baisse du nombre d'agriculteurs.
Plan de Développement Agricole	Les financements octroyés par les PDA (Plans de Développement Agricole) ont pu favoriser les développements de nouvelles pratiques agraires.
Quotas laitiers	La mise en place des quotas laitiers a pu entraîner une augmentation des surfaces en cultures suite à la réduction des cheptels bovins et/ou des surfaces en herbe (en fonction de la charge en UGB/ha), ou à l'inverse une augmentation des surfaces en herbe suite à l'extensification nécessaire au maintien de la production laitière.
Réforme PAC 92	Les primes PAC allouées à certaines cultures (blé, maïs fourrager…) favorise leur implantation.
Bretagne Eau Pure	Ce programme incite, par des moyens humains, matériels et financiers, les agriculteurs volontaires à avoir des pratiques visant la préservation de la qualité de l'eau (implantation de couverts hivernaux)
Spatial	
Le climat	Le climat peut avoir une influence sur l'implantation de cultures (maïs, blé,…) en fonction de la pluviométrie, de l'ensoleillement et des vents (verse des céréales). Même si des variabilités interannuelles peuvent avoir des répercussions non négligeables, on considère qu'elles sont homogènes à l'échelle du bassin versant du Blavet.
Milieu physique : les pentes et les sols	Les pentes et les sols peuvent être des facteurs naturels dans la répartition spatiale des types d'occupation du sol. Des pentes fortes difficilement accessibles aux matériels agricoles ne vont peut-être pas être favorables à l'implantation de cultures. De même, les sols ont une influence directe sur le développement des plantes. La variable retenue pour l'illustrer est le niveau d'hydromorphie car, une saturation en eau des sols peut « étouffer » le système racinaire mais aussi présenter une portance insuffisante face au poids des matériels agricoles.
Taille du parcellaire	L'évolution de la taille du parcellaire peut avoir une influence sur la répartition spatiale de types d'occupation des sols : l'hypothèse est que les cultures se localisent préférentiellement sur des parcelles de grande taille.
Distance au siège d'exploitation	La distance au siège d'exploitation constitue un facteur géographique où les prairies se concentrent autour du siège d'exploitation permettant un accès aux pâtures plus facile pour les cheptels. Les cultures se retrouvant généralement de façon légèrement plus éloignée, sans que cela constitue de contrainte pour l'exploitant en raison des matériels agricoles utilisés.

6.2.1.2. L'analyse des facteurs de changement à travers l'analyse systémique

L'analyse systémique permet de mettre en évidence les relations entre les facteurs de changement, en généralisant les processus d'évolution décrits sur les trois sites au travers des récits (annexe 9), des entretiens et de la bibliographie. Elle est exposée sous la forme d'un graphique commenté pour chaque grande période décrite précédemment : le contexte général (socio-économique et politique) dans lequel les facteurs des changements d'occupation des sols et des structures paysagères s'inscrivent est d'abord décrit succinctement, tandis que les effets de ce contexte général sur le territoire sont ensuite analysés en mettant en relief les facteurs de changements prédominants sur le plan local. Ce sont les poids respectif ou cumulé de ces différents facteurs qui ont engendré des changements de rythmes et d'ampleurs différenciés sur les trois sites d'étude. La période 1945 - 1968/70

Face à la nécessité de nourrir la France dans le contexte d'après-guerre, le courant moderniste porté par la JAC (Jeunesse Agricole Chrétienne) depuis les années 1930 a eu un réel impact sur les sociétés agraires. Avec une main d'œuvre importante, les petites exploitations agricoles produisaient jusqu'alors essentiellement pour subvenir à leurs propres besoins : le système de polyculture-élevage dominait largement. Sensibilisés à la nécessité de se moderniser pour répondre à la demande nationale, les exploitants agricoles s'appuyèrent sur la diffusion des innovations techniques pour augmenter leurs rendements. Cette diffusion fut amplement relayée par des groupements d'agriculteurs, des CUMA (Coopératives d'Utilisation de Matériel Agricole), des CETA (Centres d'Etudes Techniques Agricoles) ou des GVA (Groupements de Vulgarisation Agricole) mais elle a également été effectuée par diffusion de proche en proche, « par-dessus le talus ». La qualité des sols demeurait alors une contrainte non négligeable sur les modes d'occupation des sols et leur répartition spatiale : certaines céréales versant plus facilement sur les sols granitiques, elles étaient peu implantées sur ce type de sol ; les zones humides de bas-fonds étant peu propices aux travaux mécaniques, la prairie y était dominante. L'économie s'organisait autour de marchés locaux, de COOP (COOPératives agricoles) et de petites IAA (Industries Agro-Alimentaires). La « Révolution Silencieuse » était alors en marche (Canévet, 1992) et la modernisation permis une amélioration des productions.

Toutefois, la structure foncière des exploitations constituait un facteur limitant à l'augmentation des rendements : la structure bocagère héritée de la « bocagisation » passée, destinée à marquer la limite de la propriété lors des successions familiales (Flatrès, 1979), était trop dense. Le débocagement individuel et les procédures d'aménagement foncier (remembrement) destinés à s'affranchir de la contrainte bocagère commencèrent avant 1960. Toutefois, le nombre encore important d'exploitants agricoles n'avait pas permis de modifier la structure spatiale des exploitations de façon suffisante. Les lois d'orientation agricole de 1960-62 ont réformé les structures d'exploitations, ce qui eut un impact important sur le foncier. Elles furent à l'origine des IVD (Indemnités Viagères de Départ), favorisant le départ à la retraite des exploitants âgés afin de libérer des terres, et instaurèrent des conditions strictes pour l'installation ou la reprise des terres libérées. Ces mesures entraînèrent l'augmentation de la taille des exploitations, en grande partie dans le cadre d'aménagements fonciers. La plupart des communes morbihannaises du bassin versant du Blavet ont été touchées par ces aménagements fonciers entre 1956 et 1967. On considérait à l'époque que « sans une remise en ordre du terroir, l'agriculture morbihannaise était condamnée à une mort lente. Du même coup, on aurait assisté à une irrémédiable dégradation du paysage actuel qui n'est pas un paysage naturel mais une construction humaine demandant un entretien constant » (Robin, 1973).

Les effets de ce contexte général sur le territoire se traduisirent essentiellement par une augmentation de la taille moyenne du parcellaire, par des arasements ponctuels de haies lorsque des remembrements n'avaient pas été réalisés. La motorisation des campagnes est le facteur explicatif principal de l'évolution de la trame bocagère jusqu'en 1960. Après les LOA de 1960-62, l'IVD a joué également un rôle important : couplé à la motorisation, il favorise la suppression du bocage. La recherche de l'agrandissement des exploitations a facilité les aménagements fonciers : les remembrements qui en ont résulté ont eu, quant à eux, un impact direct et massif. Les effets se traduisirent également sur l'évolution des modes d'occupations des sols. Les jeunes agriculteurs modernistes qui s'installèrent délaissèrent partiellement les zones humides de fonds de vallées, enclenchant une perte de savoir-faire pour la gestion de ces zones. Les progrès techniques, et notamment l'implantation des prairies temporaires, engendrèrent une inversion de tendance de l'évolution du ratio « cultures / surfaces en herbe ». Cependant, la répartition spatiale globale des modes d'occupation et d'utilisation des sols au sein du bassin versant avait peu changé au cours de cette période: les versants étaient restés majoritairement des espaces support de cultures, les fonds de vallées demeuraient des surfaces en herbe, à l'abandon pour certaines (figure 74).

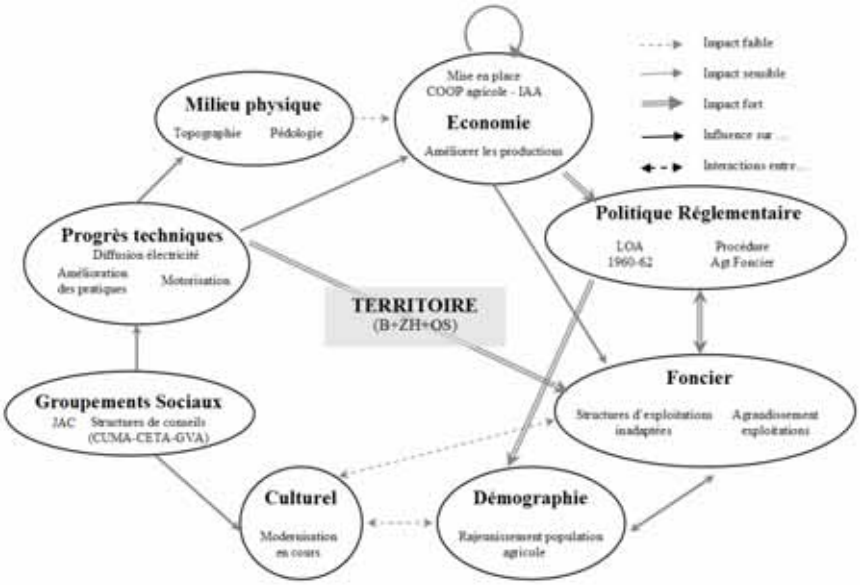


Figure 74. Facteurs et relations inter-facteurs influant sur l'évolution des structures paysagères et des modes d'occupations des sols d'un bassin versant entre 1945 et 1968/70

6.2.1.2.1. La période 1968/70 - 1982/83

Les années 1968-70 ont marqué le passage d'une logique foncière à une logique de marché. L'agriculture devint de plus en plus intégrée, structurée par les coopératives agricoles et les industries agro-alimentaires. Le contexte social, marqué par un éclatement syndical entre des logiques modernistes capitalistes et des logiques plus traditionnelles, entraîna des clivages au sein de la société agraire. Les « petites » exploitations d'un point de vue économique furent donc les plus concernées par l'IVD. La recherche permanente de l'intensification des productions, afin de rembourser les frais engagés pour s'intégrer à l'économie agricole structurée par les IAA, joua en faveur d'un agrandissement croissant des exploitations. Le modèle de production laitière s'imposa, mais des ateliers hors-sol avicoles ou porcins vinrent soit en complément, soit constituèrent la production dominante dans certains secteurs. Un début de spécialisation infra-régionale se dessinait. Ce fut une période de prospérité, jusqu'à ce que la production, notamment laitière, soit trop importante.

Les effets de ce contexte général sur le territoire peuvent se décliner de la manière suivante : le développement fondé sur le système d'exploitation de type « bovin-lait » sur la totalité du territoire breton a engendré l'implantation massive de prairies temporaires au détriment des cultures du système de « polyculture-élevage ». L'intensification des productions entraîna soit l'abandon de l'utilisation des zones humides comme source potentielle de fourrages dans le cas où leur accessibilité était limitée (topographie contraignante), soit un drainage de ces zones dans le but d'augmenter les surfaces cultivables lorsqu'elles étaient plus aisément accessibles. Le facteur explicatif principal de l'évolution des zones humides est alors d'ordre économique. Toutefois, elle reste aussi dépendante d'actions individuelles des exploitants et de leur niveau de développement. Le bocage, quant à lui, a continué à régresser dans le cadre des opérations de remembrement dans les communes qui n'avaient pas encore été remembrées. Les actions ponctuelles et individuelles de débocagement se poursuivirent avec l'objectif d'adapter les structures d'exploitation aux besoins de l'intensification (figure 75).

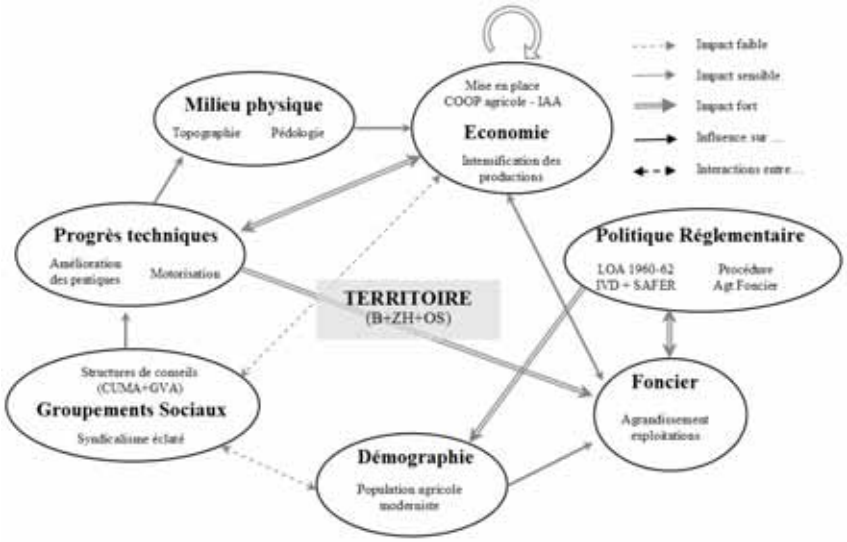


Figure 75. Facteurs et relations inter-facteurs influant sur l'évolution des structures paysagères et des modes d'occupations des sols d'un bassin versant entre 1968/70 et 1982/83

6.2.1.2.2. La période 1982/83 – 1992

La surproduction laitière, sous-jacente depuis la fin des années 1970, a entraîné la mise en place des quotas laitiers entre 1982 et 1983. Cette réglementation a eu pour conséquence d'accentuer les spécialisations de production infra-régionales : les zones à dominante laitière se diversifièrent vers une production de type « bovin-viande » avec ponctuellement des ateliers avicoles complémentaires, les zones à dominante hors-sol abandonnèrent leur production laitière pour s'intensifier. Cette spécialisation se produisit à l'échelle de l'exploitation agricole par l'adoption d'une Orientation Technico-Economique des eXploitations (OTEX). L'intensification des productions se poursuivit à l'échelle individuelle. Elle fut compensée par la baisse du nombre d'agriculteurs (effet des IVD et de l'ACAL (Aide à la Cessation de l'Activité Laitière)). L'agrandissement des structures d'exploitation se poursuivit.

Les remembrements étaient de moins en moins utilisés pour aménager l'espace, et l'agrandissement des structures d'exploitation s'effectuait alors essentiellement par des échanges de parcelles ou par l'acquisition de surfaces libérées. Les actions individuelles de débocagement sont donc la cause principale de la baisse de la densité bocagère au cours de

cette période, les haies pouvant occasionner une gêne pour l'augmentation des productions. La motorisation constituait un facteur désormais moins prépondérant car cette phase d'innovation technique peut être considérée comme achevée (la quasi-totalité des agriculteurs sont alors équipés). L'occupation du sol est marquée par une inversion de tendance dans l'évolution du ratio « cultures / surfaces en herbe ». Une OTEX vers un système de type « bovin lait / viande » a occasionné soit une augmentation des cultures fourragères (maïs, céréales), soit une augmentation des surfaces en herbe pour s'adapter aux quotas laitiers. L'orientation vers une production de type « hors-sol » s'est accompagnée d'une augmentation nette des surfaces en cultures. L'évolution des zones humides a suivi la tendance de la période précédente : Les vallées étroites et encaissées se sont fermées en raison d'une absence de gestion ; les vallées plus larges ont été soit utilisées comme pâtures ou abandonnées dans un contexte où la production bovine est dominante, soit elles ont été majoritairement drainées dans les zones où les cultures ont augmenté. La baisse du nombre d'exploitants a amplifié la contrainte du temps de gestion nécessaire à leur entretien (figure 76).

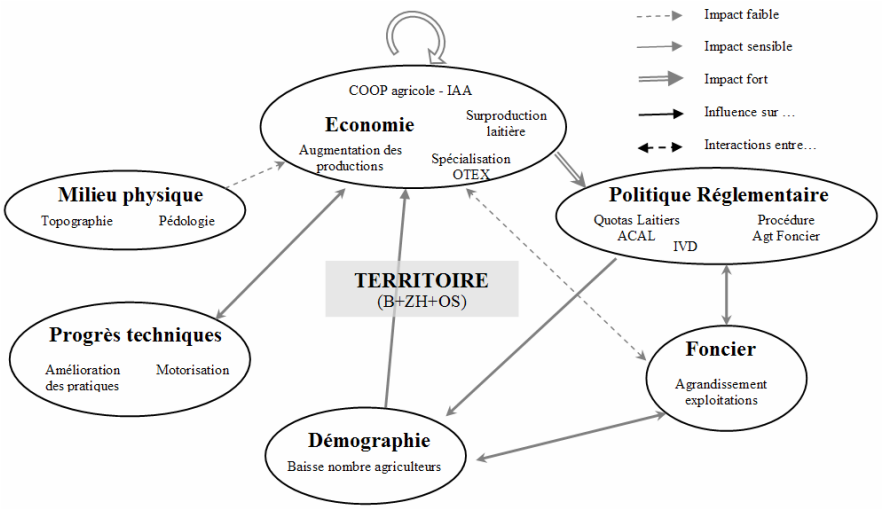


Figure 76. Facteurs et relations inter-facteurs influant sur l'évolution des structures paysagères et des modes d'occupations des sols d'un bassin versant entre 1982/83 et 1992

6.2.1.2.3. La période 1992 à aujourd'hui

Au début des années 1990, le modèle agricole breton « productiviste » qui a su mettre cette région au premier plan dans l'économie française et européenne en 40 ans, a été à l'origine de la réforme de la PAC. Au vu des coûts supportés par le soutien à l'agriculture et pour désenclaver les régions n'ayant pu bénéficier des mêmes boucles de rétro-actions positives entre progrès techniques et IAA, la philosophie de la PAC a alors visé à soutenir davantage les petits et moyens exploitants et les productions non intensives. Toutefois, les modalités de la nouvelle PAC (primes à l'hectares ou au cheptel) ont conforté la spécialisation infra-régionale. De plus, le modèle agricole breton est remis en cause par les nuisances qu'il engendre : excédents, pollutions et marginalisation des espaces à agriculture extensive (Canévet, 1992). La dégradation de la qualité de l'eau a entraîné un certain nombre de mesures réglementaires visant à la restaurer: Directive Nitrates (1991), Programmes de Maîtrise de Pollution d'Origine Agricole (PMPOA), programmes Bretagne Eau Pure, Contrats Territoriaux d'Exploitation (1999) relayé par les Contrats d'Agriculture Durable (2002)… La population agricole vieillissante n'est guère renouvelée, et les primes à l'hectare de la PAC convergent dans le sens d'un agrandissement continuel des exploitations.

La PAC a eu des effets conséquents sur l'évolution des modes d'occupations des sols. Le maïs fourrager a été d'une façon générale encouragé dans les systèmes de type « bovin-lait » ou « bovin-viande » par le versement de primes. Elles ont aussi favorisé l'implantation de céréales ou de cultures légumières industrielles qui, associées au système de type hors-sol ont contribué à maintenir une certaine intensivité. Ces mesures vont dans le sens d'un drainage des zones humides, là où le milieu physique le permet, mais qui a été stoppé à partir de 1994. La baisse du nombre d'exploitants entraîne leur abandon, et la fermeture des fonds de vallées.

En parallèle, la multiplication des mesures réglementaires et des programmes de luttes contre la pollution des eaux d'origine agricole, bien qu'orientés majoritairement vers une mise aux normes des bâtiments d'élevage ou une amélioration de la fertilisation, a pu influencer l'évolution des modes d'occupation des sols : mise en place de plans d'épandage et meilleure gestion des terres pour réduire les pollutions diffuses dans le cadre des PMPOA 1 et 2 ; conseils et incitations à l'amélioration de pratiques culturales (rotations culturales, couvertures hivernale des sols…) dans les bassins versants Bretagne Eau Pure ; reconversion de terres arables en prairies, emploi de couverts végétaux, implantation et entretien des haies… dans le cadre des CTE/CAD. Toutes ces mesures s'appliquent à l'échelle de l'exploitation agricole. L'évolution des modes d'occupation des sols se décline donc à cette échelle, souvent sur la base du volontariat (CESR de Bretagne, 2003).

Enfin, l'agrandissement des exploitations n'empêche toujours pas l'arasement de haies résiduelles de façon ponctuelle et individuelle, mais les procédures d'aménagement foncier ont évolué et prennent désormais en compte le bocage du fait de ses intérêts écologique, faunistique, anti-érosif et paysager. L'arasement reste possible si les haies n'ont pas un rôle prépondérant dans les transferts de flux de surface vers les cours d'eau, et parfois en contrepartie d'implantations nouvelles. Des politiques de replantation de haies menées par la Région (HARMONIE) et par le Conseil Général visant « la mise en valeur et l'amélioration du paysage rural et la préservation de l'environnement » existent depuis le début des années 1990 avec un impact relatif à l'échelle communale mais croissant à l'échelle intercommunale (Grouazel, 2002 ; CESR de Bretagne, 2003). Le programme Bretagne Eau Pure permet aussi une sensibilisation auprès des exploitants et de mettre en oeuvre des actions pour restaurer le bocage (figure 77).

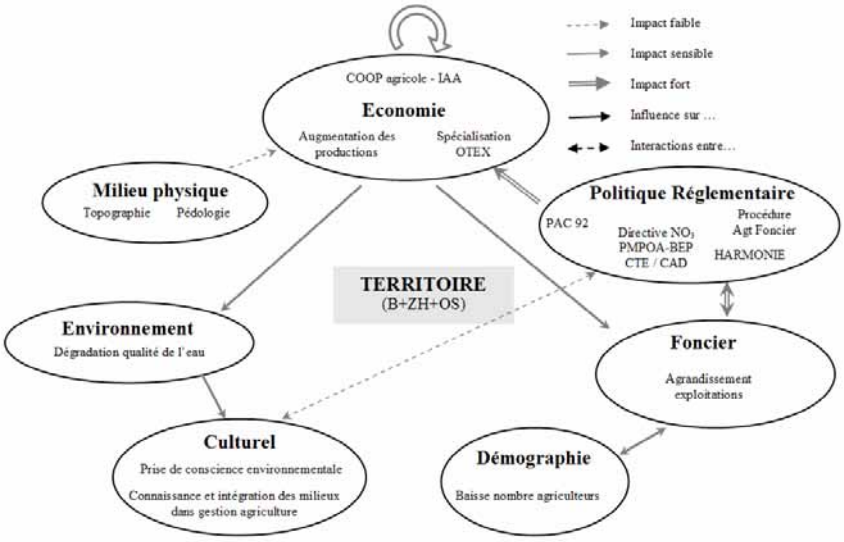


Figure 77. Facteurs et relations inter-facteurs influant sur l'évolution des structures paysagères et des modes d'occupations des sols d'un bassin versant entre 1992 et aujourd'hui

6.2.2. La représentation spatiale et la validation des facteurs de changement

Cette partie présente les facteurs qui ont pu être spatialisés et validés à travers des descripteurs en fonction des données disponibles.

6.2.2.1. Les descripteurs utilisés

Les descripteurs retenus pour décrire chacun des facteurs d'évolution sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Facteurs	*Descripteurs*	*Sources*	*Périodes concernées / Date*	*Thématiques*
Motorisation/mécanisation	Nombre de tracteurs pour 100ha de SAU par commune	RGA	1955-2000	B-ZH
Niveau d'intégration des exploitations	MBS/ha par commune	Canévet	1955-2000	OS
Nombre d'exploitants agricoles	Densité pour 100ha de SAU par commune	RGA	1955-2000	OS-B-ZH
Propriété foncière	Ratio Fermage/SAU par commune	RGA	1955-2000	B-OS
Cheptel bovin	Densité pour 100ha de SAU par commune	RGA	1955-2000	OS
Cheptel porcin	Densité pour 100ha de SAU par commune	RGA	1955-2000	OS
Cheptel avicole	Densité pour 100ha de SAU par commune	RGA	1970-2000	OS
Plan de Développement Agricole	Nombre de PDA / commune	CNASEA	1974-2000	OS
Quotas laitiers 1982-83	% Surf prime cessation activité / SAU communale	CNASEA	1983-2000	OS
Taille des parcelles agricoles	Surface moyenne de la parcelle en ha	SIG	Dates photos	OS
Accessibilité des zones humides	Pente/classes dans la zone humide	SIG	Dates photos	ZH
Niveau d'hydromorphie	Niveau d'hydromorphie/classe	SIG	Toute la période	ZH-OS
Aménagements fonciers : remembrements	L'existence d'un aménagement connexe %Linéaires arasés/Linéaire non arasé par commune	DDAF SIG	Dates Dates photos	B
Propriété foncière	Ratio Fermage/propriété	RGA	1955-2000	B
Réseau routier + bâti	% « haies à proximité des routes et surfaces bâties / haies totales »	SIG	Dates photos	B
Type d'occupation des sols	% « haies à proximité des prairies / haies totales »	SIG	Dates photos	B

Tableau 12. Descripteurs des facteurs de changements et sources des données utilisées pour les thématiques bocage (B), zone humide (ZH) et occupation du sol (OS)

6.2.2.2. Cartographie et validation des facteurs de changements

Les facteurs pour lesquels des données ont pu être collectées ont été cartographiés. Cette partie présente ces cartographies commentées et l'analyse de leur corrélation avec les descripteurs des changements de l'occupation des sols et des structures paysagères, permettant ainsi de valider les facteurs déterminés à dire d'experts.

6.2.2.2.1. Les facteurs d'évolution des modes d'occupation des sols spatialisés à l'échelle communale

L'évolution de l'occupation des sols a été décrite sur la période 1952-1999 à l'échelle de la parcelle sur les 3 sites dans le chapitre 5 à partir du ratio « cultures / surfaces en herbe ». Les données collectées pour décrire les facteurs explicatifs des changements sont structurées à l'échelle communale. En conséquence, la validation des facteurs qui expliquent cette

évolution a nécessité la restructuration de ce ratio à l'échelle communale. L'analyse de ce ratio est d'abord effectuée ci-dessous, avant le commentaire des cartographies des facteurs qui expliquent son évolution, et la validation de ces derniers.

Le suivi du ratio « cultures / surfaces en herbe »

L'évolution de ce ratio à l'échelle communale est présentée par la figure 78.

Pour les communes du Lestolet, le ratio « cultures / surfaces en herbe » légèrement supérieur à 1 dans les années 1950 évolue dans le sens d'une augmentation importante des surfaces en herbe jusqu'au début des années 1980. Il baisse pour atteindre une valeur proche de 0,5-0,6. Il augmente très légèrement entre 1979 et 1988, pour augmenter plus nettement jusqu'en 2000 (valeur autour de 0,8).

Les communes du Coët-Dan et du Stang Varric présentaient dans les années 1950 un ratio très fort (3 à 4). Alors qu'il était devenu légèrement inférieur à 1 sur le Stang Varric jusqu'au début des années 1980, les valeurs des communes augmentent pour atteindre des valeurs hétérogènes comprises entre 1,4 et 4 en 2000. Le Coët-Dan a conservé des valeurs très élevées (supérieures à 4 en 2000).

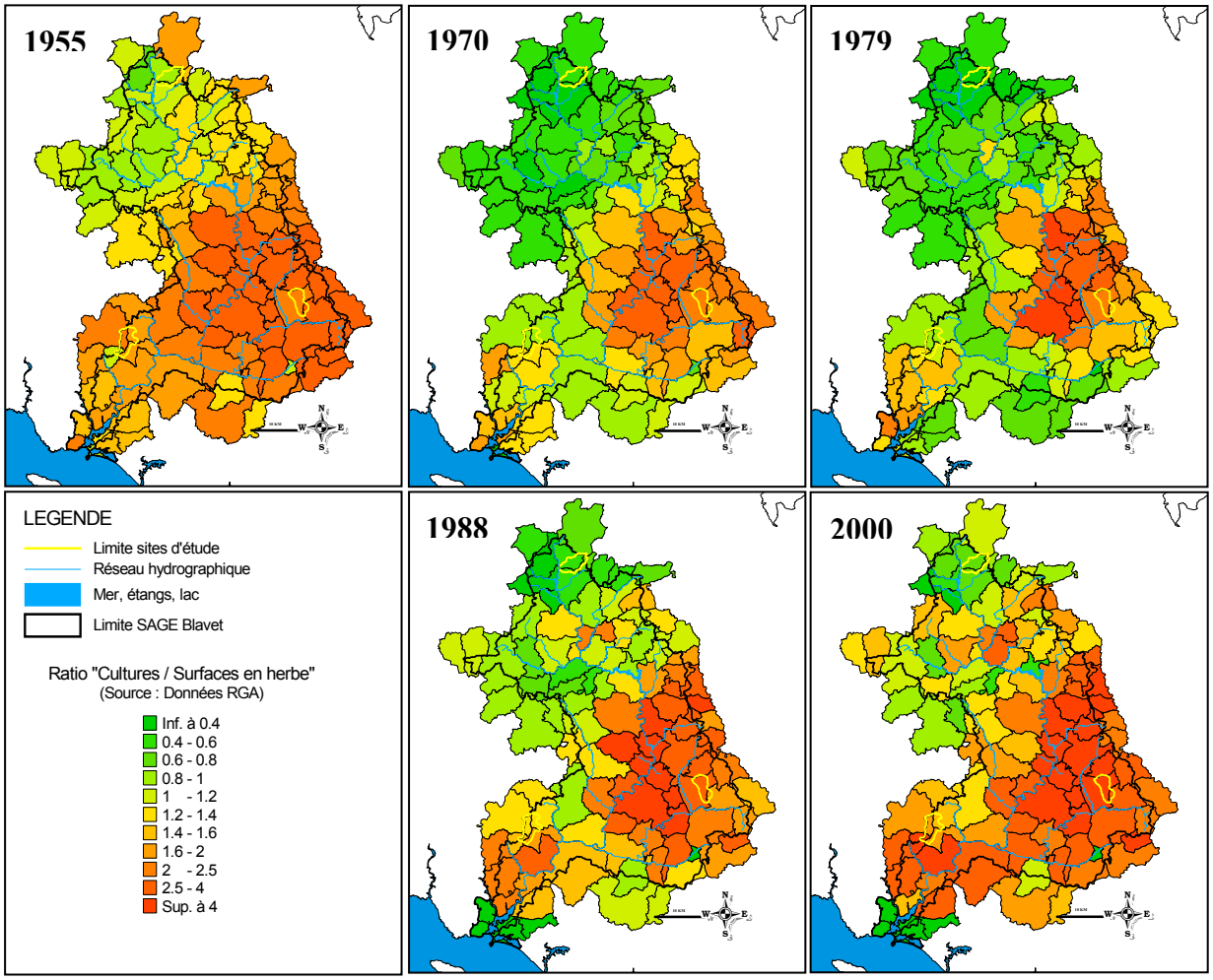


Figure 78. Evolution du ratio « cultures / surfaces en herbe » à l'échelle communale

Le niveau intégration des exploitations à l'échelle communale

L'évolution de la MBS/ha montre clairement les communes qui ont adopté le plus rapidement le modèle agricole breton productiviste (figure 79). En 1955, les communes les plus intégrées sont les communes urbaines et en périphérie des centres urbains (Lorient, Pontivy, proximité de Loudéac). Les données de 1970 et 1979 montrent que l'intensification basée sur ce modèle concerne les communes situées au sud-est de Pontivy (Moustoir-Remungol, Pluméliau, Saint-Thuriau…), à proximité desquelles le Coët-Dan se situe, et des communes en limite du SAGE tournées vers le bassin de production de Loudéac. La dichotomie rive droite / rive gauche est très marquée. En 1988, l'organisation spatiale est restée la même ; les communes très productives de 1970 et 1979, le sont toujours, mais sont à un niveau d'intégration légèrement moindre dans la mesure où d'autres communes bretonnes ont connu des évolutions importantes, avec un niveau d'intégration plus élevé.

L'analyse comparée de la MBS/ha sur les trois sites d'étude montre que le niveau de production agricole a permis une amélioration dans l'intégration de l'économie agricole régionale entre 1970 et 1988 pour le Coët-Dan et le Lestolet. Après 1988, seul le Coët-Dan continue à être de plus en plus intégré, alors que l'évolution s'inverse pour le Lestolet et le Stang Varric.

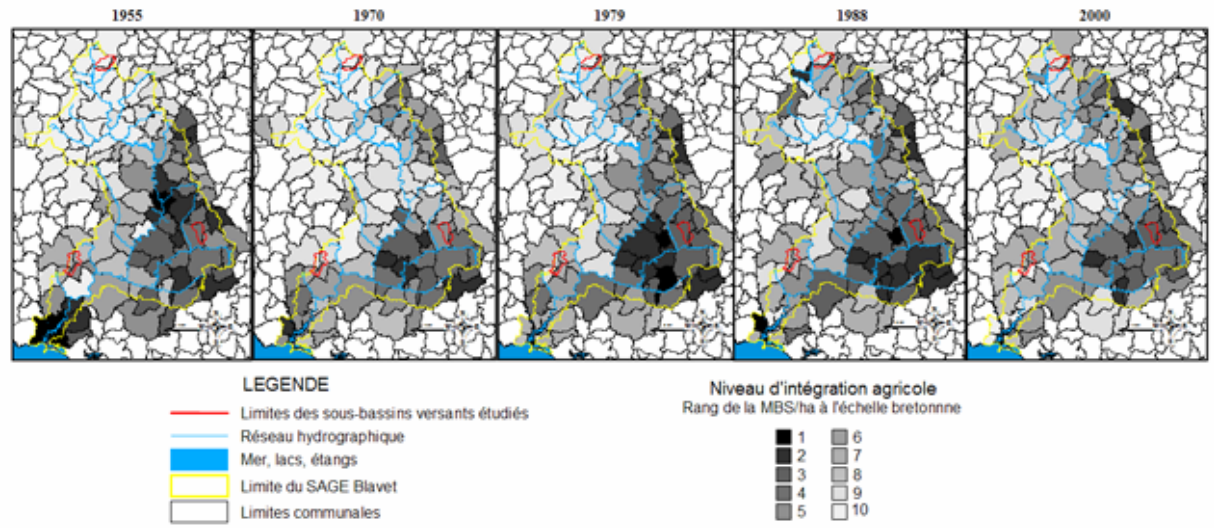


Figure 79. Evolution de la MBS/ha sur le bassin versant du Blavet de 1955 à 2000

Le calcul de la corrélation entre le ratio cultures/prairies et la MBS/ha montre que l'évolution de la MBS par commune est relativement bien corrélée à l'évolution de l'occupation du sol.

Année	Corrélation
1955	-0.57
1970	-0.50
1979	-0.61
1988	-0.33
2000	-0.39

L'utilisation des terres est liée au niveau de l'intégration à l'économie bretonne jusqu'à la fin des années 1970. Une corrélation de -0.57 signifie que les communes qui présentaient beaucoup de cultures en 1955 faisaient partie des communes les plus intégrées. L'augmentation de la corrélation entre 1970 et 1979 (de -0,5 à -0,61) s'explique par la hausse généralisée des surfaces en herbe qui est liée à une intégration de plus en plus importante des communes s'orientant vers le système bovin. Les communes présentant des cultures importantes restent des communes intégrées. La baisse de la corrélation entre 1979 et 1988 témoigne du fait la marge brute standard n'est plus totalement corrélée aux types d'occupation des sols.

Le nombre d'exploitants agricoles

La figure 80 montre que l'évolution du nombre d'exploitants agricoles a fortement baissé entre 1955 et 2000, de façon assez régulière pour l'ensemble des communes du Blavet. Les évolutions sur le Lestolet et le Coët-Dan sont comparables sur l'ensemble de la période, avec une population divisée par 3 en presque 50 ans. Le Stang Varric a subi une diminution plus forte (division par 4). Cependant, au final, le nombre d'exploitants pour 100 ha de SAU est équivalent à celui des autres bassins versants (environ 2 à 3), du fait d'une population agricole plus importante en 1955 sur ce bassin versant.

Année	Corrélation
1955	-0.01
1970	-0.03
1979	-0.06
1988	-0.13
2000	-0.12

La corrélation entre le ratio cultures/prairies et le nombre d'exploitants agricoles est faible pour toute la période 55-2000 car l'influence de ce facteur n'est pas directe sur les modes d'occupation des sols.

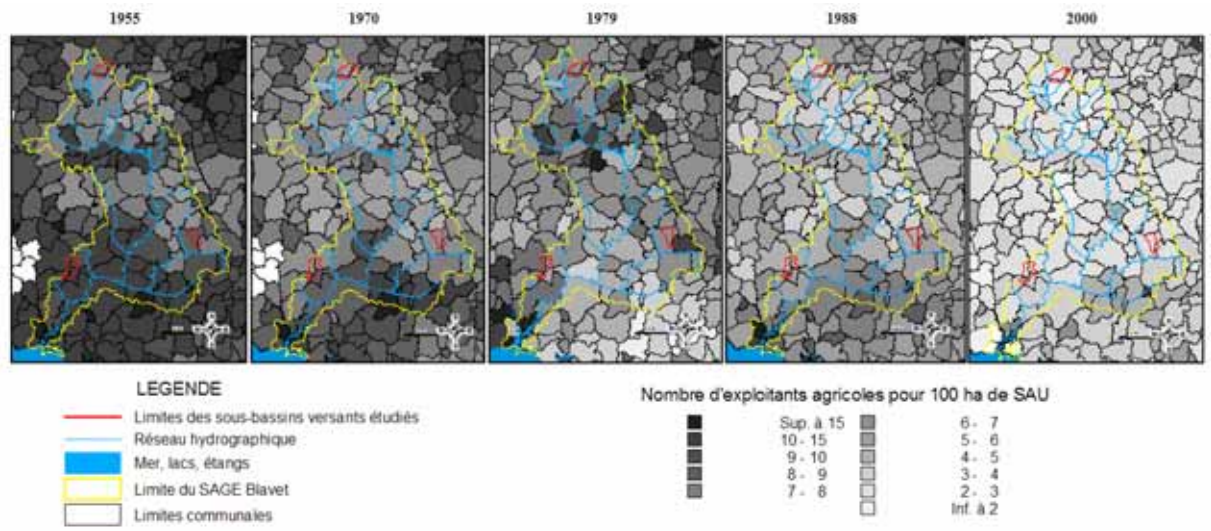


Figure 80. Evolution du nombre d'exploitants agricoles sur le bassin versant du Blavet, de 1955 à 2000

Evolution de la propriété foncière

La répartition spatiale des proportions de SAU en fermage par rapport aux terres en propriété par commune entre 1970 et 1979 montre une baisse dans la moitié nord et le long de la limite est du bassin versant du Blavet, et une hausse dans le sud (figure 81). Ce descripteur a ensuite peu évolué entre 1979 et 1988. Le Stang Varric et le Coët-Dan présentaient durant cette période des proportions de surfaces en fermage relativement proches (respectivement 43 et 47%). Le Lestolet a connu quant à lui une baisse de 10 points entre ces deux dates (de 50 à 40%). Après 1988, la hausse du ratio présente une ampleur similaire et pour le Lestolet (+15 points) et le Stang Varric (+20 points), alors que le Coët-Dan a conservé les mêmes valeurs.

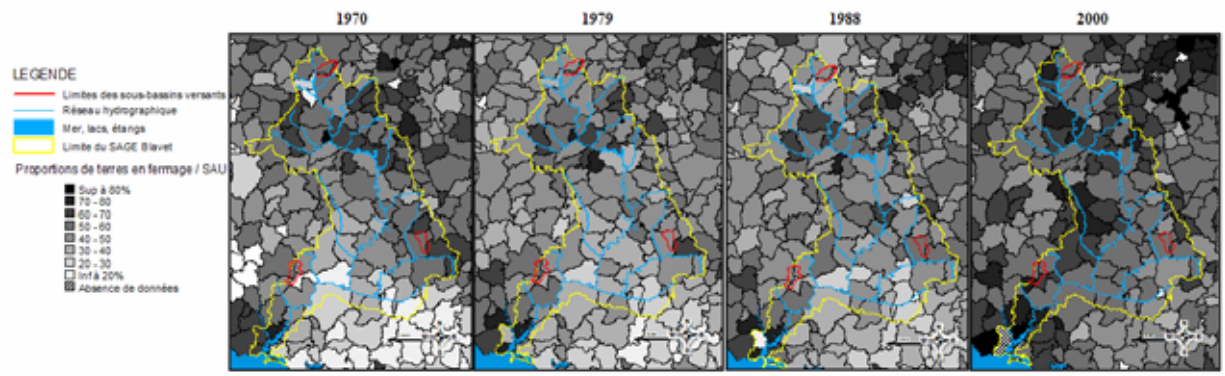


Figure 81. Evolution de la proportion de SAU en fermage sur le bassin versant du Blavet, de 1955 à 2000

Année	Corrélation
1970	-0.04
1979	-0.08
1988	0.08
2000	-0.20

La corrélation entre l'évolution des modes d'occupation du sol et les proportions de terres en fermage est faible pour chaque date car l'influence de ce facteur n'est pas direct sur l'évolution des modes d'occupation des sols.

Le cheptel bovin

L'évolution de la densité du cheptel bovin entre 1955 et 1979 a été plus importante dans la partie nord du Blavet (figure 82). Dès 1979, on constate une régression de cette densité autour de Pontivy. Elle stagne, voire baisse très légèrement dans la partie nord entre 1979 et 1988, et de façon un peu plus nette le long de l'axe Pontivy-Loudéac, ainsi qu'au nord de Lorient. Cette tendance se poursuit entre 1988 et 2000 sur l'ensemble du bassin versant du Blavet, un peu plus nettement toutefois dans la partie Sud.

Avec un chargement théorique allant de 1,6 à 2 UGB/ha en 2000, le bassin versant du Lestolet se démarque des autres bassins versants qui présentent une charge théorique de 1 UGB/ha, le Coët-Dan n'étant pas orienté vers un système d'exploitation de type bovin. Notons que cette charge a légèrement diminué sur les trois bassins versants entre 1988 et 2000.

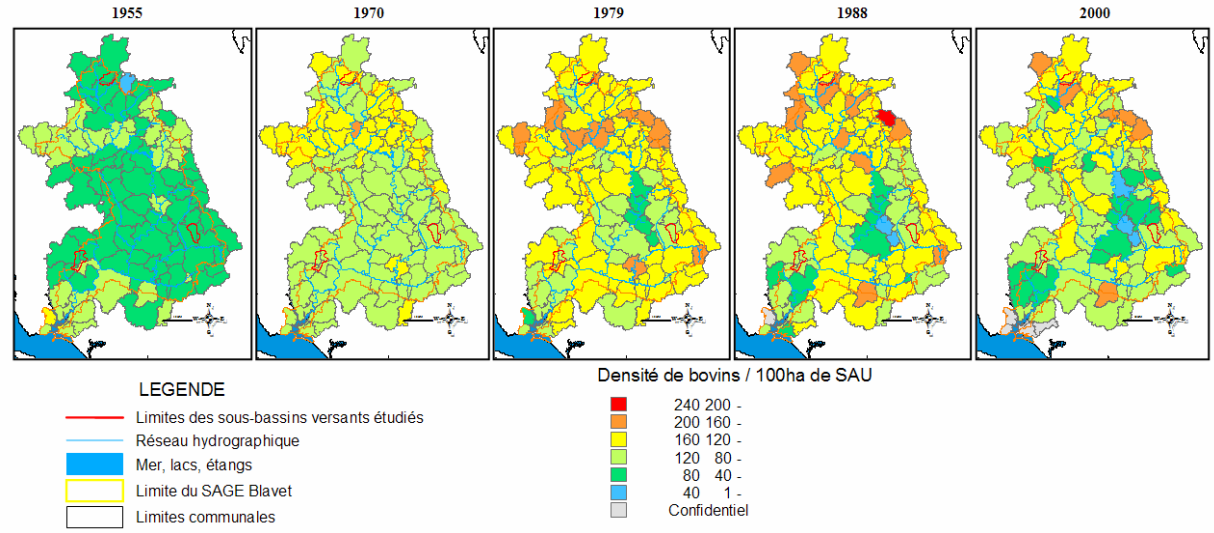


Figure 82. Evolution de la densité de bovins sur le bassin versant du Blavet, de 1955 à 2000

Année	Corrélation
1955	-0.13
1970	-0.52
1979	-0.57
1988	-0.54
2000	-0.78

La faible corrélation entre le ratio cultures/prairies et la densité bovine s'explique par la faible densité de bovins, générale sur l'ensemble du bassin versant. A partir de 1970, la corrélation est significative (autour de -0,55), elle devient forte en 2000.

Plus la spécialisation dans un système bovin est marquée, plus la part de surfaces en herbe augmente.

Le cheptel porcin

La densité de porcs, quasiment nulle en 1955, a augmenté de façon progressive et continue sur le bassin versant du Blavet jusqu'en 2000 (figure 83). En 1970 et 1979, elle s'élève essentiellement sur la rive gauche du Blavet, et plus particulièrement au sud-ouest de Pontivy, autour de la commune Moustoir-Remungol.

A l'échelle des bassins versants étudiés, la spécialisation porcine Coët-Dan est marquée dès 1988, avec une densité porcine comprise entre 5 et 7,5 porcs/ha. Les deux autres bassins versants présentent une densité plus faible (de 1 à 2 porcs/ha).

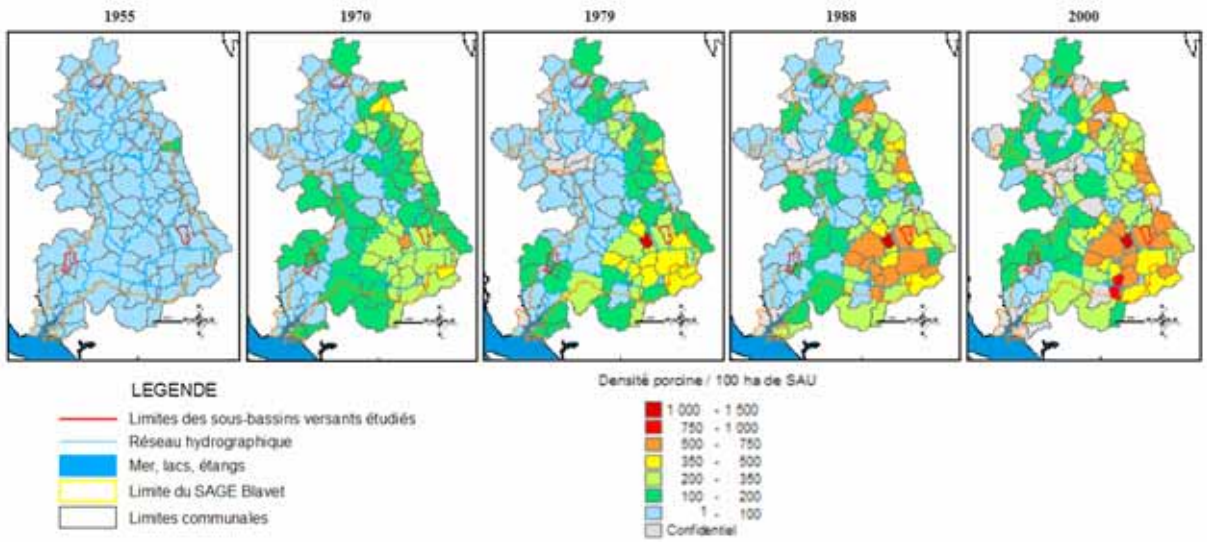


Figure 83. Evolution de la densité de porcs sur le bassin versant du Blavet, de 1955 à 2000

Année	Corrélation
1955	0.16
1970	0.45
1979	0.59
1988	0.61
2000	0.63

La faible corrélation entre le ratio cultures/prairies et la densité de bovins en 1955 s'explique par la faible densité porcine, générale sur l'ensemble du bassin versant. A partir de 1979, la corrélation est significative (autour de 0,60) ; Elle tend à se renforcer légèrement en 1988 et 2000. Plus la spécialisation dans un système porcin est marquée, plus la part en cultures croît.

Le cheptel avicole

La spécialisation avicole est visible dans la partie sud du bassin versant du Blavet, selon un axe structurant situé le long de la route Rennes – Lorient (figure 84). La frange nord-est du bassin versant est aussi un espace spécialisé dans l'élevage avicole, sous l'influence du pôle Saint-Connan-Allineuc, communes situées en dehors du bassin versant.

Les bassins versants du Lestolet et du Coët-Dan présentent en 2000 une orientation avicole évidente mais non dominante. Le Stang Varric est situé à l'interface de communes aux orientations contrastées, soit très spécialisées (Inguiniel), soit quasi-exsangues de ce type de production (Plouay). Les variations intercensitaires sont marquées pour ce bassin versant, alors l'évolution croît tendanciellement pour les deux autres.

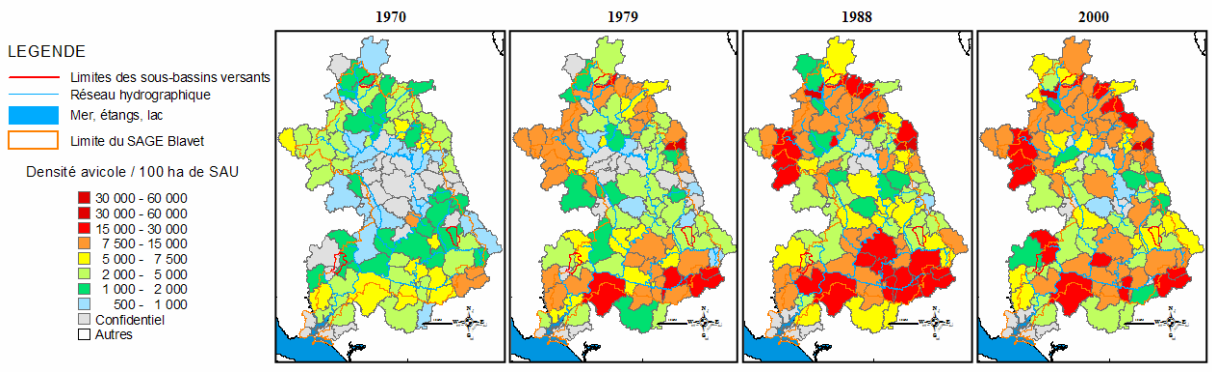


Figure 84. Evolution de la densité de volailles

Année	Corrélation
1970	-0.01
1979	-0.08
1988	-0.01
2000	-0.12

Quelle que soit l'année considérée, la corrélation entre le ratio cultures/prairies et la densité de volailles est très faible, voire nulle. L'alimentation des volailles étant réalisé majoritairement à partir de produits transformés, ce type de production influe peu sur l'occupation des sols.

Les Plans de Développement Agricole

Lancés en 1974, les plans de développement agricole (PDA) ont permis des conversions vers des systèmes de production intensifs (ateliers hors-sol généralement), entraînant un changement d'utilisation des terres de l'exploitation agricole au profit de cultures. Une dichotomie départementale s'observe nettement en 2000 (figure 85).

Le bassin versant du Coët-Dan a largement bénéficié de ces plans, le bassin versant du Stang Varric en a également profité, mais dans une moindre mesure.

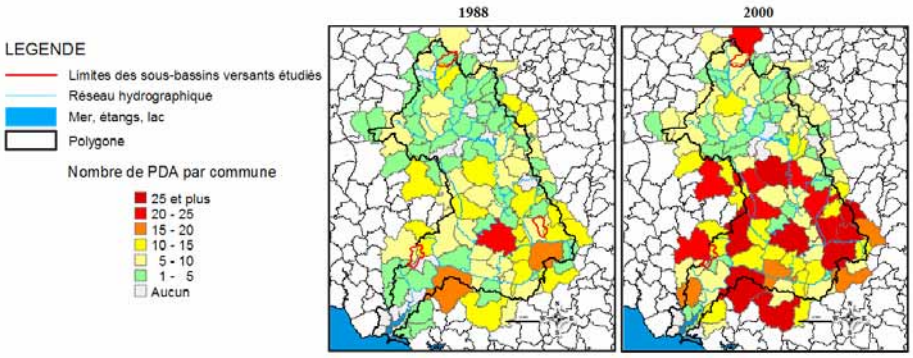


Figure 85. Evolution du nombre cumulé de PDA sur les périodes 1974-88 et 1989-2000

Année	Corrélation
1988	0.19
2000	0.08

Le degré de corrélation entre le ratio « cultures/prairies» et le nombre de PDA est faible en 1979 et 2000. Cela résulte de l'inadaptation de l'échelle spatiale des données collectées, car les changements engendrés interviennent à l'échelle de l'exploitation agricole, et non à l'échelle communale.

Les aides à la cessation de l'activité laitière

La répartition spatiale des communes concernées par cette mesure ne suit pas de logique claire (figure 86). La corrélation entre le ratio cultures/prairies et l'ACAL (Aide à la Cessation de l'Activité Laitière) est faible car les terres libérées ne sont pas automatiquement transformées en cultures.

Année	Corrélation
2000	-0.05

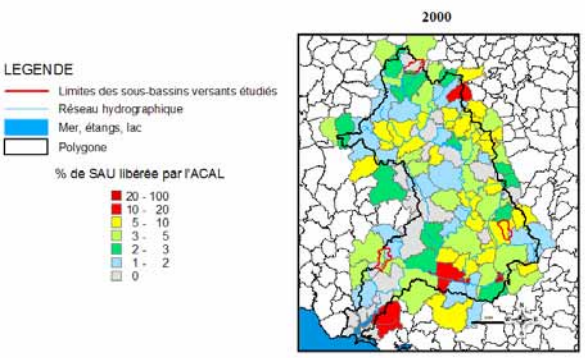


Figure 86. Les aides la cessation d'activité sur le bassin versant du Blavet entre 1992 et 2000 (en équivalent surface - % de SAU)

6.2.2.2.2. Les facteurs d'évolution des modes d'occupation des sols spatialisés à l'échelle parcellaire

Les facteurs de changements des modes d'occupation des sols observés à l'échelle locale à travers l'évolution des grandes classes d'occupation des sols entre 1952 et 1999 sont cartographiés à l'échelle des sites d'étude à partir des données collectées, et validés à l'aide du SIG développé lors du volet 1 de l'étude.

Les pentes

L'objectif est de montrer le degré de corrélation entre l'évolution des modes d'occupation des sols et leur répartition spatiale sur le relief. L'analyse est effectuée entre les principales classes d'occupation du sol (bois, friches, cultures et prairies) et trois classes de pentes (0 à 5%, 5 à 10%, Sup. à 10%). Notons que le niveau de précision de cette représentation spatiale est faible, en raison de la résolution relativement grossière du MNT qui est à un pas de 50m (figure 87).

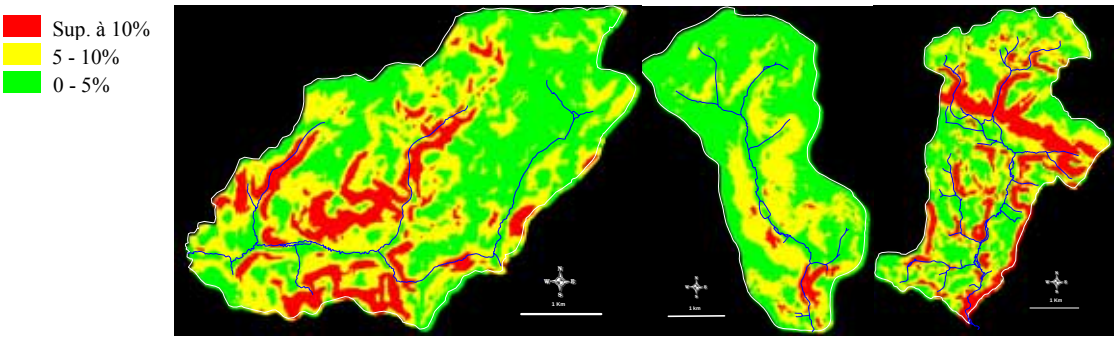


Figure 87. Répartitions des classes de pente sur les trois bassins versants

Le bassin versant du Lestolet peut être considéré comme un bassin versant ayant un relief plutôt vallonné, dont les pentes sont relativement marquées (pente moyenne de 4,6%). Les pentes faibles (0 à 5%) et les pentes moyennes (5 à 10%) sont très largement couvertes de cultures et de prairies. Sur les pentes fortes, concernant un peu moins de 200 ha, les proportions entre les bois, les friches, les prairies et les cultures restent proches. Les parcelles

en friches et les parcelles boisées, se trouvant sur des pentes faibles, sont essentiellement situées dans les vallées à fond plat. Celles qui correspondent à des pentes moyennes à fortes sont en grande partie situées sur les versants des vallées. Les pentes n'ont donc pas *a priori* de réelle influence sur les modes d'occupation du sol sur le bassin versant du Lestolet.

Le Coët-Dan, avec une pente moyenne de 3,2%, peut être considéré comme un bassin versant au relief peu marqué. Les cultures et les surfaces en herbe occupent la quasi-totalité des surfaces cultivables ; les parcelles boisées et de friches sont localisées exclusivement sur des pentes faibles, au sein des fonds de vallées.

Le Sang Varric, avec une pente moyenne de 5,2%, se démarque des autres bassins versants : il présente un relief plus contrasté. La proportion des parcelles en friches ou boisées par rapport aux cultures et prairies augmente à mesure que la pente augmente. Le milieu physique constitue une contrainte plus forte pour l'utilisation des parcelles à des fins agricoles sur le Stang Varric.

L'hydromorphie des sols

L'objectif est de montrer le degré de corrélation entre l'évolution des modes d'occupation des sols et leur répartition spatiale selon le type de sols. Sur le Coët-Dan, seul bassin versant pour lequel des données sur l'hydromorphie des sols existent, la répartition des principales classes d'utilisation des sols a été analysée suivant le degré d'hydromorphie des sols pour chacune des années étudiées. Il apparaît au final que les prairies sont principalement réparties jusqu'en 1972 sur les sols hydromorphes à très hydromorphes, c'est-à-dire dans les zones humides. Les cultures se localisent essentiellement sur les sols sains et peu hydromorphes, dominants sur le bassin versant. Après 1972, cette répartition n'est plus aussi nette.

La taille du parcellaire

L'objectif est de montrer le degré de corrélation entre l'évolution des modes d'occupation des sols et leur répartition spatiale selon la taille des parcelles. L'analyse est faite pour chacun des bassins versants et pour chacune des années (Houet et Hubert-Moy, 2004).

L'augmentation de la taille des parcelles agricoles du bassin versant du Lestolet concerne indifféremment cultures et prairies. Les friches et des bois (naturels ou plantations) sont situées essentiellement sur des parcelles de petite taille (inférieures à 1ha). L'augmentation de la taille des parcelles agricoles du bassin versant du Coët-Dan concerne essentiellement des parcelles de cultures. En 1999, les cultures se situent quasi-exclusivement sur des parcelles supérieures à 2ha. Les prairies se localisaient préférentiellement sur des parcelles petites à moyennes jusqu'en 1981. En 1999, un tiers des prairies sont situées sur des parcelles inférieures à 1ha, un autre tiers sur des parcelles de 1 à 2ha, un dernier tiers sur des parcelles de 2 à 5ha. Sur le Stang Varric (figure 30), la superficie des parcelles de cultures n'a cessé d'augmenter entre 1952 et 1999. Les cultures sont présentes quasi-exclusivement sur des parcelles supérieures à 2 ha en 1999. La taille des parcelles de prairies suit cette tendance mais elles restent de taille inférieure en 1999 (taille moyenne de 1,5ha).

En résumé, la taille du parcellaire exerce une influence sur la répartition des types d'occupation des sols : à partir de 1981, les cultures se localisent majoritairement sur des grandes parcelles. Cela est très net pour le Coët-Dan et le Stang Varric, moins net toutefois pour le Lestolet qui présente un parcellaire moins ouvert que les bassins versants précédents.

6.2.2.2.3. Les facteurs d'évolution du bocage

Les descripteurs relatifs aux facteurs d'évolution du réseau bocager sont représentés et analysés soit à l'échelle communale, soit à l'échelle locale, selon l'échelle des données collectées pour construire ces descripteurs.

Les opérations de remembrement

La refonte des structures d'exploitation a concerné la majeure partie des communes du bassin versant du Blavet. La diffusion du remembrement n'a pas été très précoce pour les communes des bassins versants étudiés, comparativement à d'autres communes (figure 88).

L'analyse de l'évolution de la densité bocagère montre que la régression moyenne annuelle des communes qui n'ont pas été remembrées est de 2 m/ha/an environ. Le rythme du débocagement est relativement plus élevé avant 1981 (-2,5 m/ha/an). Il reste non négligeable entre 1981 et 1999, proche de -1,5 m/ha/an. Une analyse plus fine des communes du Coët-Dan et du Stang Varric montre que le débocagement a véritablement commencé après 1960 : avant 1960, les arasements volontaires et individuels sont très faibles, de l'ordre de -0,5 m/ha/an ; Après 1960 le rythme s'accélère fortement pour atteindre jusqu'à -3 m/ha/an.

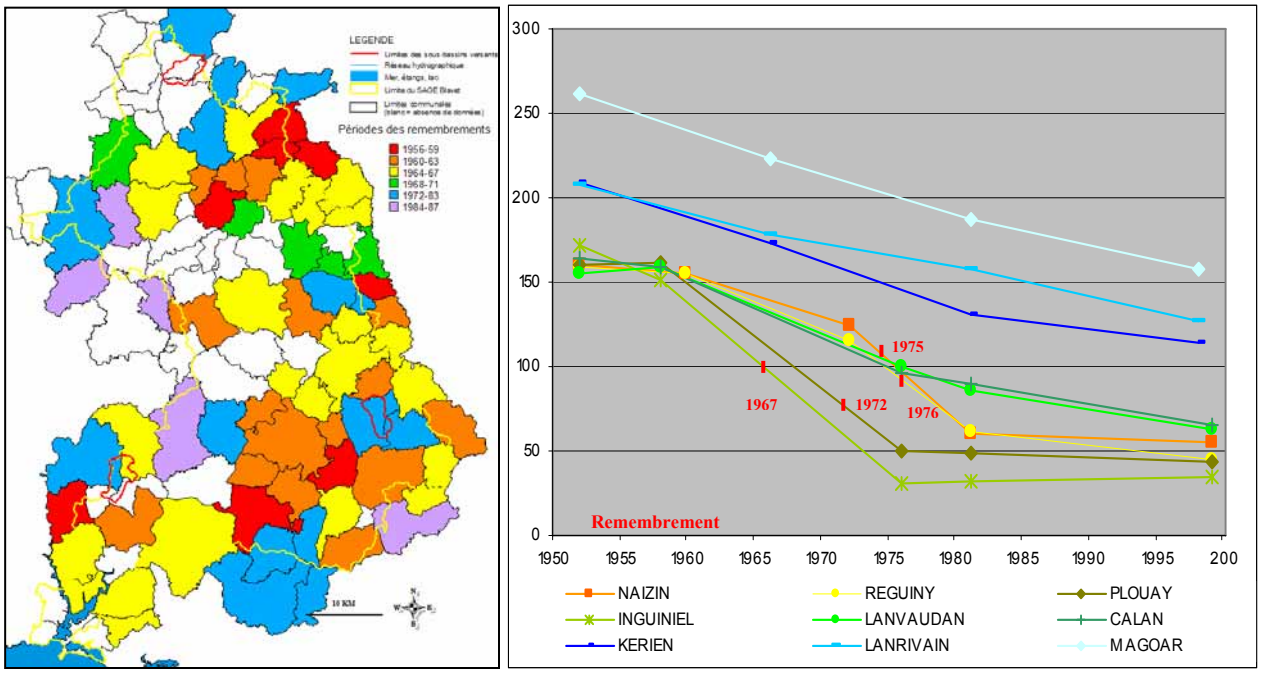


Figure 88. Diffusion spatiale et temporelle du remembrement sur le bassin versant du Blavet et impact sur les densités bocagères sur les communes des sous bassins versants étudiés

Les remembrements pratiqués dans les années 1960-70 sont des remembrements de type « table rase ». En 2000, pour ces communes, on retrouve une densité bocagère presque égale à celle observée après que les remembrements ont eu lieu. Ceci laisse supposer que la structure bocagère n'a pas ou peu évolué depuis les remembrements. C'est le cas pour Inguiniel, Plouay et Réguiny. La commune de Naizin observe encore une baisse sensible après 1981. Par contre pour les communes non remembrées, la régression se prolonge, mais de façon moins marquée.

La motorisation

La motorisation des campagnes sur le territoire du Blavet (figure 89), très faible en 1955, a été très rapide, avec des valeurs plus fortes pour les communes situées sur l'axe Lorient – Pontivy – Loudéac jusqu'en 1970. La partie costarmoricaine, déjà légèrement moins équipée en 1955, l'est restée. La motorisation se poursuit après 1970, se généralisant à l'ensemble des communes morbihannaises. La baisse de la motorisation s'amorce à partir de 1979, s'accentuant nettement après 1988. Si l'a hausse du nombre de tracteurs pour 100 ha de SAU suit le même rythme soutenu pour les trois sites entre 1955 et 1970, le Stang Varric se démarque par une inversion de tendance après cette date. La baisse du nombre de tracteurs y est plus précoce que pour les autres sites, qui suivront à leur tour cette évolution entre 1988 et 2000. La baisse est toutefois de moindre ampleur pour le Lestolet. En 2000, le Lestolet et le Coët-Dan ont retrouvé des niveaux de motorisation identiques à ceux de 1970, celui du Stang Varric étant légèrement inférieur.

La corrélation entre l'évolution de la motorisation et la régression du bocage ne peut pas être calculée, mais seulement approchée qualitativement car, d'une part les données ne correspondent pas dans le temps, et d'autre part les descripteurs proviennent de données ayant des échelles spatiales différentes. Toutefois, il est possible d'observer que la régression rapide du bocage entre 1952 et 1981 semble très corrélée avec l'augmentation du nombre de tracteurs par commune. Ainsi, la motorisation a pu constituer un facteur prépondérant dans la régression du bocage après 1950 jusqu'à d'éventuels remembrements. Après cette date, cela ne semble plus être le cas, même pour les communes d'ayant pas connu d'aménagements fonciers.

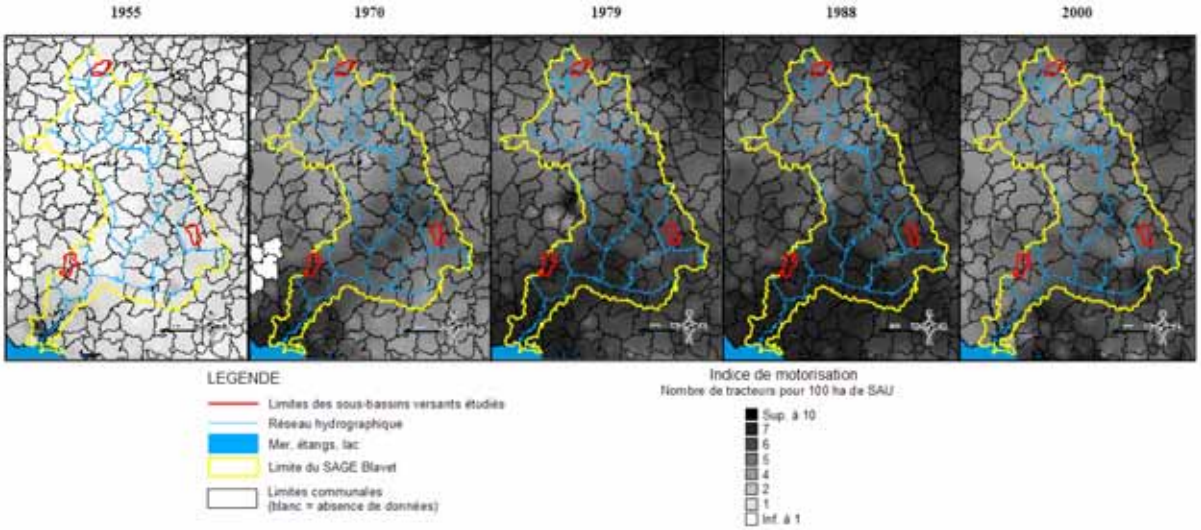


Figure 89. Evolution de la motorisation sur le bassin versant du Blavet, de 1955 à 2000

Les types d'occupation des sols : le réseau routier et les surfaces bâties

L'objectif est de voir à l'aide des données SIG si la régression du bocage, pour chacun des sites, a été contrainte par sa localisation par rapport au réseau routier et aux surfaces bâties (Houet et Hubert-Moy, 2004). Ainsi, il a été démontré que la régression bocagère, touchant l'ensemble des haies avant 1981, suit une logique spatiale spécifique après cette date : tandis que globalement les haies continuent de disparaître partout ailleurs, la proportion de haies situées à proximité des routes et des surfaces bâties augmente légèrement. Ses dernières représentent en 2000 près de 50% de l'ensemble du réseau bocager sur le Stang Varric et le Coët-Dan. Elles atteignent à peine plus de 30% pour le Lestolet.

Les types d'occupation des sols : les prairies et les cultures

De la même façon, nous avons cherché à savoir si la régression du bocage, pour chacun des sites, a été contrainte par sa localisation par rapport aux prairies et aux cultures (Houet et Hubert-Moy, 2004). L'évolution de la proportion de « haies à proximité d'une prairie / haies totales » montre une forte corrélation avec l'évolution du ratio « cultures / surfaces en herbe » : à mesure que les surfaces en herbes augmentent entre 1952 et 1981, la proportion de haies à proximité des prairies augmente. Les données SIG permettent d'expliquer que la suppression des haies s'effectue préférentiellement sur des espaces susceptibles de recevoir plus fréquemment des cultures. De même, entre 1981 et 1999, l'augmentation des cultures s'accompagne d'une baisse de la proportion de « haies à proximité d'une prairie / haies totales » dans des proportions identiques sur les trois bassins versants.

Ces résultats sont concordants avec les résultats obtenus sur les relations entre types d'occupation du sol et taille des parcelles agricoles. Des fortes proportions s'expliquent soit par un nombre important de prairies, soit par une régression forte des haies à proximité des cultures. Les données cartographiques ont de plus permis de montrer que les haies sont préférentiellement situées à proximité des prairies. Par déduction, leur évolution est dépendante de la part de prairies dans une exploitation, et donc du système de production.

6.2.2.2.4. Les facteurs d'évolution des zones humides de fonds de vallées

Les descripteurs liés aux facteurs d'évolution du réseau bocager sont présentés ci-après.

Le nombre d'exploitants agricoles

Le descripteur de l'évolution du nombre d'exploitants n'ayant pas la même échelle spatiale que celui de l'évolution des zones humides de fonds de vallées, il n'est pas possible d'évaluer précisément le niveau de corrélation entre ces deux descripteurs. Toutefois, une comparaison visuelle (figure 80 p. 159) montre que la baisse régulière du nombre du nombre d'exploitants accompagne la régression et la fermeture des zones humides.

La motorisation

Puisque le descripteur de l'évolution de la motorisation des campagnes n'a pas la même échelle spatiale que celui de l'évolution des zones humides de fonds de vallées, seule une comparaison visuelle est possible (figure 89 - page précédente). Elle montre de faibles similitudes entre les deux évolutions : le nombre augmente fortement puis régresse à partir des années 1980 alors que les zones humides régressent et se ferment de façon continue.

« L'accessibilité topographique » des zones humides de fonds de vallées

L'objectif est de montrer le degré de corrélation entre la fermeture des humides et le niveau d'encaissement des zones humides. Il est défini par la méthode présentée en annexe 10.

L'analyse de l'évolution des zones humides de fonds de vallées selon leur niveau d'accessibilité (figure 90 - accessible pour les pentes de 0 à 5% ; peu accessible pour les pentes supérieures à 5%) montre que :

- Pour le Coët-Dan et le Lestolet, la disparition des zones humides est logiquement plus forte dans les secteurs facilement accessibles que dans les secteurs peu accessibles.

- Pour le Stang-Varric, la régression (drainage) des zones humides est observée sur l'ensemble de la zone humide, quelque soit le niveau d'encaissement. La régression apparaît paradoxalement plus élevée depuis 1952 dans les zones difficilement accessibles, c'est-à-dire

situées dans des vallées étroites et encaissées, que dans les zones humides moins enclavées topographiquement.

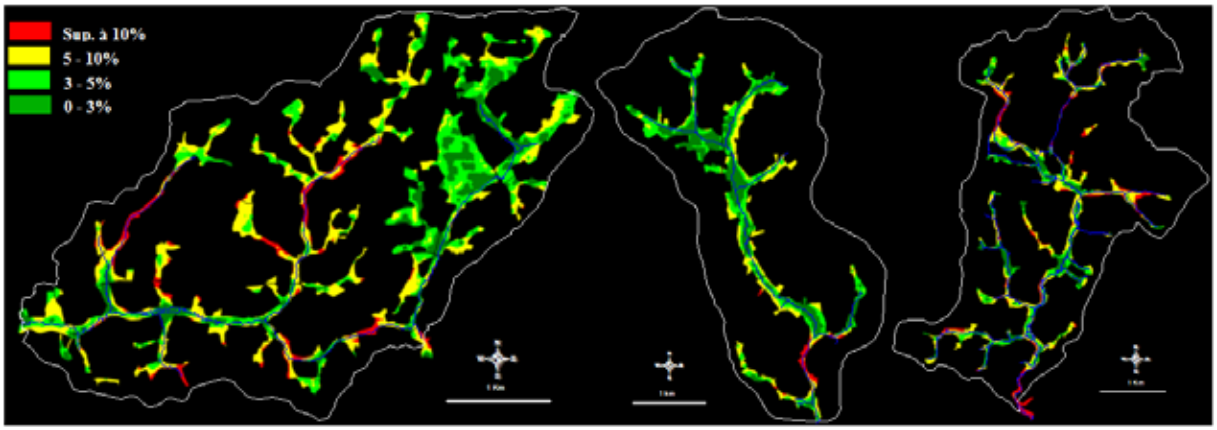


Figure 90. Niveau « d'accessibilité topographique » des zones humides des sites d'étude

Le croisement des cartes du niveau d'accessibilité avec les cartes d'occupation du sol au sein de la zone humide permet d'analyser l'évolution des principales classes d'occupation du sol (bois, friches, prairies, cultures) selon le niveau « d'accessibilité » des parcelles de la zone humide.

La fermeture de la zone humide du Lestolet a connu une progression légèrement plus forte pour les parcelles situées dans des compartiments peu accessibles entre 1952 et 1966 que dans celles situées dans des espaces plus accessibles. Entre 1966 et 1981, la fermeture progresse de façon presque équivalente. A partir de 1981, les zones humides « ouvertes » (prairies + cultures) deviennent minoritaires face aux zones humides fermées (friches + bois). La fermeture se poursuit jusqu'en 1998 à un rythme plus soutenu sur l'ensemble de la zone humide, sans distinction par rapport au niveau d'accessibilité. Le Coët-Dan, qui se caractérise par un relief peu contrasté, est logiquement marqué par une fermeture de la zone humide dans des zones accessibles, et dans une moindre mesure dans les zones peu accessibles. Sur le Stang Varric, les proportions de zones humides en friches n'ont pas augmenté, ont voire diminué entre 1952 et 1958. Après 1981, la fermeture s'amorce en augmentant, mais de façon identique quelque soit le niveau d'accessibilité.

L'hydromorphie des sols

L'objectif est de montrer le degré de corrélation entre la fermeture des zones humides et le niveau d'hydromorphie des sols. L'analyse est réalisée uniquement pour le Coët-Dan, seul bassin versant où des données pédologiques existent.

Le croisement des cartes d'occupation du sols au sein des zones humides de fonds de vallées avec les données concernant l'hydromorphie des sols (Houet et Hubert-Moy, 2004) montre que l'évolution de la fermeture de la zone humide par des friches ou des boisements (naturels ou plantations) s'effectue essentiellement sur des sols hydromorphes à très hydromorphes.

6.2.3. La hiérarchisation des facteurs

Les résultats obtenus par l'approche qualitative et par l'approche quantitative sont successivement exposés. Les premiers portent sur l'ensemble des facteurs, tandis que les seconds portent exclusivement sur les facteurs spatialisés à l'échelle communale.

6.2.3.1. Approche qualitative

Les résultats de l'approche qualitative sont présentés par thème (occupation du sol, réseau bocager et zones humides) et par grande période d'évolution.

6.2.3.1.1. Analyse comparée du poids des facteurs dans l'évolution des modes d'occupation des sols

La hiérarchisation des facteurs influençant l'évolution des modes d'occupation des sols est présentée de façon synthétique dans le tableau suivant (tableau 13) et est ensuite analysée par période.

Facteurs	*1945 à 1968/70*			*1968/70 à 1982/83*			*1982/83 à 1992*			*1992 à aujourd'hui*		
	L	CD	SV	L	CD	SV	L	CD	SV	L	CD	SV
Innovations techniques												
Electrification	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Diffusion des progrès techniques	-	xx	xx	xx	xx	xx	-	-	-	-	-	-
Economie												
Types de production (OTEX)	-	-	-	x	xxx	xx	x	xxx	xx	x	xxx	xx
Niveau d'intégration des exploitations	x	xx	x	x	xx	x	x	xx	x	-	-	-
Sociologie et démographie												
Formation agricole	-	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	-
Nombre agriculteurs (baisse agriculteurs)	x	xx	xx	x	xx	xx	x	xx	xx	x	xx	xx
Foncier												
Propriété foncière	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	x	x
Réglementaire												
LOA 1960/62	xx	xx	xx	xxx	xxx	xxx	xx	xx	xx	-	-	-
Quotas Laitiers	-	-	-	-	-	-	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx	xxx
Plans de Développement Agricole	-	-	-	-	-	-	x	xx	xx	x	xxx	xx
Réforme PAC 92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	xxx	xxx	xxx
Bretagne Eau Pure	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Spatial												
Milieu physique (contrainte pentes/sols)	xx	-	xxx	x	-	xxx	x	-	xxx	x	-	xxx
Distance au siège	-	-	-	-	-	-	-	-	-	xx	xx	xx
Taille du parcellaire	x	xx	x	x	xx	x	x	xx	xx	xx	xxx	xxx

L : Lestolet **CD** : Coët-Dan **SV** : Stang Varric

Influence des facteurs : impact relatif entre les bassin versants sur une période

- \- Influence nulle ou négligeable
- x Influence faible
- xx Influence moyenne
- xxx Influence forte

Influence des facteurs : poids entre les facteurs pour une période

- Influence faible
- Influence moyenne
- Influence forte

Tableau 13. Hiérarchisation des facteurs d'évolution de l'occupation des sols

La période 1945-1968/70

Le système de production semi autarcique du début des années 1950 constitue le facteur majeur de l'explication des modes d'occupation des sols, des spécialisations locales différenciant les trois bassins versants : le Stang Varric est orienté vers la cidriculture, le Coët-Dan vers la production de céréales et pommes de terre, le Lestolet dans un système de polyculture-élevage plus général.

Le milieu physique est un facteur déterminant. Ainsi, les pentes les plus faibles sont majoritairement destinées aux cultures, les plus fortes aux friches et au bois. Il a un poids faible pour le Coët-Dan car il est favorable à l'agriculture (pentes faibles et sols favorables dans l'ensemble). Il exerce un poids plus fort pour le Lestolet (sols peu profonds avec des affleurements granitiques et une charge caillouteuse importante) et sur le Stang Varric (dichotomie entre plateaux cultivables et versants en friches et/ou boisés liée au substrat géologique).

La modernisation, à travers la **diffusion de progrès techniques, constitue un facteur essentiel** des changements observés. Même si elle a consisté dans un premier temps (jusque dans les années soixante) en une intensification des productions semi-autarciques, elle est un préalable nécessaire aux changements de modes de production et d'utilisation des sols. L'influence de la JAC semble avoir été plus forte sur le bassin de Loudéac - Pontivy (Coët-Dan), que sur le Stang Varric et enfin sur le Lestolet (C. Canévet 1992 ; INRA, 1980). Cela se traduit par un nombre de structures de conseils diffusant les progrès techniques et un niveau de formation plus importants. **Cette modernisation est à mettre en relation avec le niveau d'intégration** qui incite à produire plus, et qui constitue un facteur assez fort. Son influence a probablement été plus forte sur le Coët-Dan, que sur le Stang Varric et le Lestolet.

La **taille du parcellaire**, c'est-à-dire la structure foncière de l'exploitation, **exerce une légère influence** dans la répartition des types d'occupation des sols, les cultures se localisant sur les parcelles les plus grandes.

En revanche, le statut foncier et le nombre d'exploitants ne semblent pas influer sur l'évolution des modes d'occupation des sols à cette époque.

La période 1968/70-1982/83

La révolution culturelle ou « silencieuse » a entraîné la modernisation des campagnes et a permis la diffusion du « modèle agricole breton » (C. Canévet, 1992). Ce système productiviste est fondé sur la production laitière, accompagné ou non d'ateliers « hors-sol » complémentaires (volailles, porcs). **L'adhésion à ce système de production est le principal facteur explicatif** de l'augmentation des surfaces en herbe. L'adhésion est générale, mais se traduit différemment selon les bassins versants, en fonction des systèmes préexistants (RGA 1979) : l'adhésion est massive sur le Lestolet, légèrement moindre sur le Stang Varric, accompagné dans les deux cas de la création d'ateliers avicoles. Le Coët-Dan se distingue par une adhésion préférentielle à un système « hors-sol » porcin exigeant en cultures (maïs-grain, blé, orge).

L'intégration à l'économie de marché exerce un poids assez fort, incitant à l'adhésion à ce système productiviste.

Les progrès techniques et les structures nécessaires à leur diffusion exercent **une influence moyenne**. Ils ont permis de s'affranchir de certaines contraintes, notamment pédologiques : ainsi, d'après les récits dévolution, les scories potassiques ont eu des effets particulièrement bénéfiques sur le Lestolet. Les progrès agronomiques ont permis d'implanter des prairies temporaires plus longues en utilisant du Ray Gras Anglais (5 à 7 ans) à la place du Ray Gras Italien (2-3 ans). La diffusion des progrès techniques se généralise avec le niveau de formation. Son influence croît sur l'ensemble de la période.

Le milieu physique conserve un poids similaire pour le Stang Varric (fort) et le Coët-Dan (faible), mais diminue pour le Lestolet (moyen).

L'influence de la taille du parcellaire augmente légèrement. Elle est d'autant plus importante que la structure du parcellaire s'agrandit.

Le nombre d'exploitants influence indirectement l'évolution des modes d'occupation des sols et de façon faible, en raison d'installations sur des exploitations qui s'agrandissent, propices à l'implantation de cultures. Le poids des PDA entre 1974 et 1982/83 n'a pas pu être évalué car les données sur cette période ne sont pas fiables.

La période 1982/83-1992

La mise en place des **quotas laitiers** apparaît comme **le facteur principal de l'évolution de l'occupation des sols.** Son poids a été variable selon les systèmes de production mis en place. La réduction des cheptels de vaches laitières a entraîné une baisse généralisée, plus ou moins forte, des surfaces en herbe. Cette baisse a

été faible sur le Lestolet en raison de la diversification vers la production de viande bovine, forte sur le Coët-Dan (car la spécialisation dans la production hors-sol a nécessité l'augmentation des surfaces en maïs-grain) et sur le Stang Varric (diversification vers la production avicole).

Le poids du niveau d'intégration diminue, car la production étant quasiment totalement intégrée et structurée par les industries agro-alimentaires et coopératives agricoles, c'est désormais une logique économique productiviste à l'échelle de l'exploitation qui domine. **L'évolution des modes d'occupation des sols dépend donc essentiellement de l'OTEX des exploitations**, c'est-à-dire de leur système de production.

Les Plans de Développement Agricoles ont une influence faible sur l'évolution de l'occupation des sols. La formation agricole n'exerce plus d'influence, car elle constitue désormais un préalable à toute installation.

La **baisse du nombre d'exploitants** par le biais de l'IVD ou de l'ACAL n'a **pas d'influence directe** sur l'évolution des types d'occupation des sols. Par contre son influence n'en est pas pour autant nulle car son rôle sur l'agrandissement des exploitations est évident.

Les facteurs suivants ont une **influence sur la localisation des types d'occupation des sols** :

- Le **milieu physique** conserve le même poids que pour la période précédente : fort pour le Stang Varric, faible pour le Coët-Dan et moyen pour le Lestolet.

- L'influence de **la taille du parcellaire** tend à s'accroître encore à mesure que la structure parcellaire des exploitations s'agrandit.

- La **distance de la parcelle agricole au siège d'exploitation** a une influence non négligeable sur la localisation des types d'occupation, en lien avec l'agrandissement des exploitations.

La période 1992 à nos jours

Les spécialisations des productions vers l'élevage porcin (Coët-Dan), vers un système mixte laitier et avicole (Stang Varric) ou vers un système « bovin lait – viande » issue des quotas laitiers, v**ont engendrer des évolutions différenciées dans l'occupation des sols** et notamment dans l'augmentation des cultures au détriment des prairies, suite à la réforme de la PAC de 1992. **L'influence des primes de la PAC est forte** car elle concerne l'ensemble des systèmes de production : elle **incite l'implantation du maïs fourrager** pour les exploitations en système « bovins » et de céréales (blé) pour les exploitations « hors-sol ».

L'évolution des types d'occupation des sols **dépend exclusivement de l'OTEX des exploitations**. La production agricole étant totalement intégrée, le poids du niveau d'intégration n'a plus de réelle influence sur l'occupation du sol, comparativement au système de production.

Les facteurs suivants ont **une influence sur la localisation** des types d'occupation des sols :

- Le milieu physique conserve le même poids que pour la période précédente : fort pour le Stang Varric, faible pour le Coët-Dan et moyen pour le Lestolet.
- L'influence de la taille du parcellaire s'accroît davantage avec la conjonction de l'agrandissement de la structure parcellaire des exploitations et des primes PAC. La baisse marquée du nombre d'exploitants par le biais de la préretraite (en remplacement de l'IVD) ou de l'ACAL n'a pas d'influence directe sur l'évolution des modes d'occupation des sols. Par contre, son influence est sensible sur l'évolution de la taille des exploitations, et par conséquent sur l'implantation de cultures.

La propriété foncière, sans avoir d'influence directe sur les types d'occupation des sols, tend à jouer en faveur de l'implantation des cultures. Le déclin du nombre d'agriculteurs concourt à l'agrandissement des exploitations par le biais du fermage. L'utilisation de parcelles de plus en plus éloignées du siège d'exploitation favorise l'implantation de cultures.

Depuis les années 1970, le facteur essentiel de l'évolution des modes d'occupation des sols est le type de production des exploitations agricoles. Les différents systèmes existants entraînent des évolutions différenciées (contrastées et/ou d'ampleurs différentes) selon l'impact sur ces systèmes des grands leviers politico-économiques de la production agricole. Des grands types de trajectoires d'évolution peuvent être définis par système de production et leur traduction sur le territoire va être modulée selon l'influence de contraintes locales (milieu physique, démographie, structure foncière héritée). En conséquence, la spatialisation de l'évolution future des modes d'occupation des sols requiert de façon indispensable les données spatiales des limites des exploitations agricoles.

6.2.3.1.2. Analyse comparée du poids des facteurs dans l'évolution du bocage

La hiérarchisation des facteurs influençant l'évolution de la trame bocagère est présentée de façon synthétique dans le tableau suivant (tableau 14) et est ensuite analysée par période.

Facteurs	*1945 à 1968/70*			*1968/70 à 1982/83*			*1982/83 à 1992*			*1992 à aujourd'hui*		
	L	**CD**	**SV**	**L**	**CD**	**SV**	**L**	**CD**	**SV**	**L**	**CD**	**SV**
Innovations techniques												
Electrification	x	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Motorisation / mécanisation	x	xx	xx	xx	xx	xx	-	-	-	-	-	-
Potentiel de diffusion des progrès techniques	-	xx	xx	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sociologie et démographie												
Nombre agriculteurs (baisse agriculteurs)	-	-	-	-	-	-	xx	x	x	xx	xx	xx
Perception du maillage bocager (gêne)	-	x	xxx	x	xx	xx	x	xx	xx	xx	xx	xx
Foncier												
Propriété foncière (bail de fermage)	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Aménagement foncier (remembrement)	-	-	xxx	-	xxx	xxx	-	-	-	-	-	-
Réglementaire												
LOA 1960-62	x	xx	xx	xx	xx	xx	-	-	-	-	-	-
Quotas Laitiers	-	-	-	-	-	-	x	x	xx	x	x	xx
Réforme PAC 92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	xxx	xxx	xxx
Bretagne Eau Pure	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
CTE / CAD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Spatial												
Localisation	-	-	-	-	-	-	x	xx	xx	x	xx	xx
Réseau routier et surfaces bâties	-	x	x	x	x	xx	x	xx	xx	x	xx	xx
Type d'occupation du sol (proximité d'une prairie)	xx	x	-	xx	x	x	xx	x	x	xx	x	x

L : Lestolet **CD** : Coët-Dan **SV** : Stang Varric

Influence des facteurs : impact relatif entre les bassin versants sur une période

- \- Influence nulle ou négligeable
- x Influence faible
- xx Influence moyenne
- xxx Influence forte

Influence des facteurs : poids entre les facteurs pour une période

- Influence faible
- Influence moyenne
- Influence forte

Tableau 14. Hiérarchisation des facteurs d'évolution du bocage

La période 1945-1968/70

Le **principal facteur explicatif** de la régression du bocage avant 1960 est la **diffusion de la motorisation** dans les campagnes par des CUMA ou des CETA. C'est particulièrement visible pour le Stang Varric et le Coët-Dan : les communes d'Inguiniel (3 CUMA) et, dans une moindre mesure, de Plouay (5 CUMA) et de Naizin (5 CUMA) observent une régression de leur trame bocagère.

Cette régression est plus rapide après les années 1960. Les lois d'orientation agricole ont permis la libération des terres par le biais de l'IVD pour favoriser l'arrivée de jeunes agriculteurs modernistes (et motorisés). **Les LOA, motrices de la modernisation des campagnes, ont accéléré cette régression**, en particulier sur le Stang Varric caractérisé par un maillage bocager très dense. Leur impact est fort car elles ont entraîné le débocagement de près de 20% des haies entre 1960 et 1972 sur le Coët-Dan, et de près de 17% des haies du Lestolet entre 1952 et 1966. Le Stang Varric connaît probablement une évolution similaire, mais aussi une évolution plus brutale sur sa partie Nord-est, située sur le territoire communal d'Inguiniel. La contrainte du bocage est telle qu'un aménagement foncier (remembrement) est réalisé avec le soutien des services déconcentrés de l'Etat (DDAF). Son impact est très fort car il a provoqué l'arasement de près de 80% des haies bocagères (estimation d'après les données existantes en 1958 et 1976).

Les **types d'occupations du sol semblent avoir une légère influence sur la répartition spatiale des haies** et plus particulièrement après 1960 : les haies à proximité des prairies sont moins arasées que les haies situées à proximité des parcelles cultivées.

La période 1968/70-1982/83

Les évolutions enclenchées lors de la période précédente se poursuivent sur un rythme similaire. La motorisation est partiellement achevée en 1970 et la contrainte du bocage est alors maximale pour les communes qui n'ont pas encore été remembrées.

Les communes de Plouay, Naizin et Réguiny, suivent la même évolution qu'Inguiniel et lancent des **procédures d'aménagement foncier respectivement en 1972, 1975 et 1976**. Là encore **leur impact est très fort** : 70% des haies présentes en 1958 ont été arasées à Plouay (estimation d'après les données de 1976) ; Près 50% des haies présentes en 1972 ont disparues pour les communes de Naizin et de Réguiny (estimation à partir des données de 1981).

Le bassin versant du Lestolet et les communes de Lanvaudan et de Calan (Stang Varric) n'ont pas été remembrées. Par conséquent, **l'impact des initiatives individuelles de débocagement**, issues à la fois des LOA de 1960/62, de la motorisation et de l'agrandissement des exploitations en lien avec la baisse du nombre d'exploitants, **est sensible** : Entre 1966 et 1981 sur le Lestolet, les actions individuelles ont provoqué la disparition de 25% des haies sur la commune de Kérien, 11% des haies sur la commune de Lanrivain et 16%, soit une moyenne de 17% (estimations d'après les données SIG).

La régression du bocage concerne préférentiellement durant cette période **l'ensemble du réseau, à l'exception des haies bocagères situées à proximité des routes et des surfaces bâties** dont la proportion augmente de façon significative sur le Stang Varric (augmentation de 21% à 36% entre 1958 et 1976) et, dans une moindre mesure, pour le Coët-Dan (augmentation de 38% à 42% entre 1972 et 1981) et le Lestolet (augmentation de 25% à 29% entre 1966 et 1981).

De même, **les haies situées à proximité de prairies ont tendance à être plus facilement préservées**. Par conséquent lorsque les communes n'ont pas été remembrées, **l'OTEX des exploitations a une influence forte sur la préservation ou l'arasement du bocage**. Une exploitation en système « bovin », exigeante en surfaces en herbe, a tendance à conserver le bocage car celui-ci protège le cheptels des conditions climatiques (vent, pluie,…). A l'inverse, une exploitation ayant une orientation « hors-sol », exigeante en cultures, a tendance à simplifier son parcellaire pour augmenter ses rendements et se défaire d'un obstacle aux engins agricoles et qui n'a plus de réelle utilité.

Les périodes 1982/83-1992 et 1992 à nos jours

Les données dont on dispose ne permettent pas de dissocier les deux périodes. Les résultats sont donc analysés sur l'ensemble la période 1982 à aujourd'hui.

L'augmentation de la taille moyenne des parcelles a permis de s'affranchir de la contrainte du bocage par rapport à la motorisation. **La motorisation n'a donc *a priori* plus d'influence sur le réseau bocager**.

L'agrandissement continuel des exploitations lié à la baisse croissante du nombre d'exploitants incite à l'arasement, issu d'initiatives individuelles, car les remembrements de type « table rase » ne sont plus autorisés depuis les lois sur l'aménagement foncier et rural de 1985.

Les quotas laitiers et la réforme de la PAC de 1992 (du fait de leur impact sur les systèmes de production), la baisse de la démographie et l'agrandissement des exploitations, expliquent le prolongement de la régression du réseau bocager pour toutes les communes qu'elles soient remembrées ou non. Ainsi, sur le Stang Varric, les communes non remembrées de Lanvaudan et de Calan ont connu respectivement une disparition de 28% et 27% des haies présentes en 1981; Sur le Lestolet, les communes non remembrées de Lanrivain, Magoar et Kérien ont perdu respectivement 17%, 13% et 7% de leur réseau bocager. Sur le Coët-Dan, les communes remembrées de Réguiny, de Naizin et de Plouay ont perdu respectivement 27%, 7% et 10% de leur réseau bocager ; Au total, cela représente une régression moyenne de 17% pour le Lestolet et le Coët-Dan et de 14% pour le Stang Varric.

Le débocagement s'est réalisé préférentiellement sur les haies situées au sein d'îlots de parcelles cultivées. La proportion de haies à proximité de prairies a diminué sur l'ensemble des bassins versants, alors que la part des haies situées à proximité des routes et surfaces bâties a augmenté. **L'influence de l'OTEX sur le bocage montre que la PAC,** à travers des mesures d'incitation à l'implantation de cultures pour l'ensemble des systèmes de production, **constitue un des facteurs principaux de cette évolution**.

La multiplication des **mesures réglementaires visant le maintien, l'entretien et la replantation des haies devrait ralentir cette tendance, et voire l'inverser**. La signature d'un CTE collectif et les actions de sensibilisation réalisées sur le terrain durant l'hiver 2002 sur le Lestolet devraient permettre d'accélérer cette évolution sur ce bassin versant par rapport aux deux autres.

Les évolutions majeures du bocage en Bretagne sont bien évidemment liées aux aménagements fonciers des années 1960-1980, mais pour une large part également aux initiatives individuelles. Pour les communes n'ayant pas été remembrées, la gestion des structures bocagères par les agriculteurs était en contradiction avec une utilisation du territoire à des fins économiques, ce qui a provoqué la disparition d'une partie non négligeable du bocage, à l'exception des haies situées en bordure de routes ou à proximité des bâtiments. Le système de production des exploitations, définissant l'utilité de la haie, constitue donc un facteur « caché » important.

Ainsi, la spatialisation des scénarios prospectifs sur le thème bocager nécessite d'aborder la haie comme un élément intégré au sein d'une exploitation, car son évolution va dépendre des stratégies adoptées par l'exploitant face aux politiques agricoles et environnementales.

6.2.3.1.3. Analyse comparée du poids des facteurs dans l'évolution des zones humides de fonds de vallées

La hiérarchisation des facteurs influençant l'évolution des zones humides de fonds de vallées est présentée de façon synthétique dans le tableau suivant (tableau 15) et est ensuite analysée par période.

Dans un contexte d'améliorations techniques et de production intensive, la valorisation économique des zones humides a considérablement baissé durant les 50 dernières années, voire même disparu dans certains cas. Globalement, leur évolution suit deux trajectoires d'évolution (maintien, régression). Elle dépend essentiellement du milieu physique (configuration du relief et des sols), des politiques agricoles et des stratégies de production et de gestion adoptées par l'exploitant (OTEX) et de l'impact des contraintes environnementales émergentes.

Facteurs	*1945 à 1968/70*			*1968/70 à 1982/83*			*1982/83 à aujourd'hui*		
	L	**CD**	**SV**	**L**	**CD**	**SV**	**L**	**CD**	**SV**
Innovations techniques									
Motorisation / mécanisation	x	x	x	-	-	-	-	-	-
Economie									
Types de production (OTEX)	-	xx	x	x	x	xx	x	x	x
Sociologie et démographie									
Nombre agriculteurs (baisse)	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Perception des zones humides (gêne)	-	xx	x	x	x	xx	x	x	x
Foncier									
Drainages	-	-	-	x	x	xx	x	x	xx
Réglementaire									
Bretagne Eau Pure	-	-	-	-	-	-	x	-	-
CTE / CAD	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Spatial									
Milieu physique (accessibilité topographique - hydromorphie)	xx	-	x	xx	-	x	xx	-	x

L : Lestolet **CD** : Coët-Dan **SV** : Stang Varric

Influence des facteurs : impact relatif entre les bassin versants sur une période
- Influence nulle ou négligeable
x Influence faible
xx Influence moyenne
xxx Influence forte

Influence des facteurs : poids entre les facteurs pour une période
Influence faible
Influence moyenne
Influence forte

Tableau 15. Hiérarchisation des facteurs d'évolution des zones humides de fonds de vallées

La période 1945-1968/70

Avant 1960, la réduction de la surface occupée par les zones humides est très faible. Après 1960, elle s'accélère légèrement sur le Lestolet (-6% entre 1952 et 1966) et fortement sur le Coët-Dan (-21% entre 1960 et 1972). La modernisation, qui se traduit ici par la motorisation, l'arrivée de jeunes agriculteurs ayant une logique de rendements expliquent cette évolution.

L'évolution des modes de production s'accompagne d'une **évolution des modes de gestion de l'occupation du sol au sein de la zone humide**. Le **milieu physique exerce une influence non négligeable** : les bassins versants qui ont un relief plus ou moins vallonné, avec des vallées relativement encaissées, tels que le Lestolet et le Stang Varric, connaissent un début de fermeture des zones humides de fonds vallées.

La période 1968/70-1982/83

C'est durant cette période que l'évolution des zones humides de fonds de vallées va suivre **deux trajectoires différenciées** :
- Celle du Lestolet dont **la réduction est faible** (-7% entre 1966 et 1981). L'orientation vers un système de production laitier, exigeant en surface en herbe, est favorable au **maintien des zones humides** comme pâtures. Toutefois, elles ne sont plus aussi nécessaires qu'auparavant en raison de l'arrivée des prairies

temporaires. Leur gestion (fauche) devient une contrainte supplémentaire (temps nécessaire) et tend à diminuer avec l'arrivée de jeunes agriculteurs modernistes sur des exploitations de plus en plus grandes. **La fermeture se généralise** à l'ensemble des parcelles de la zone humide, qu'elles soient situées dans des zones enclavées ou pas.
- Celle du Coët-Dan dont **la réduction est forte** (-23% entre 1972 et 1981). L'orientation vers un système de production « hors-sol » exigeant en cultures et les progrès techniques en matière de couverts végétaux ont fortement réduit l'utilité des zones humides. Le relief étant faiblement contraignant, leur perception (temps de gestion) se dégradant avec le courant moderniste, **leur drainage se généralise** en compartimentant la zones humide. Les portions très humides, aux sols hydromorphes à très hydromorphes, sont abandonnées.

L'évolution du bassin versant du Stang Varric se situe entre ces deux trajectoires, car il est caractérisé par un système de production mixte (bovin + ateliers hors-sol) et un relief contraignant. Le drainage engendre une réduction de 13% de la superficie entre 1958 et 1981. La fermeture des zones humides s'est opérée majoritairement dans les fonds de vallées enclavées.

L'évolution des zones humides durant cette période **est donc liée** essentiellement **au système de production de l'exploitation** (bovin, hors-sol) et **au milieu physique** (topographie, hydromorphie). Ce dernier exerce un poids plus fort car c'est de lui que dépend l'utilisation des fonds de vallées (pâtures ou agrandissement des surfaces cultivées) ou leur abandon (vallées étroites et/ou encaissées). La baisse du nombre d'exploitants agricoles sur l'ensemble des trois bassins versants, et par corollaire l'agrandissement des exploitations, entraîne des temps de gestion supplémentaires défavorables à leur maintien et dont l'influence ne semble pas négligeable.

Les périodes 1982/83-1992 et 1992 à nos jours

Les données dont on dispose ne permettent pas de dissocier les deux périodes. Les résultats sont donc analysés sur l'ensemble la période 1982 à aujourd'hui.

Entre 1981 et 1998/99, la régression de la superficie des zones humides de fonds de vallées s'est accélérée pour les Lestolet (+8%) et Le Coët-Dan (+29%) ; elle s'est à l'inverse légèrement ralentie sur le Stang Varric par rapport à la période précédente (+10%).

L'influence des Quotas Laitiers, et notamment la réduction du cheptel ou des surfaces de pâtures, **favorise l'abandon des prairies permanentes humides**. Leurs proportions ont considérablement diminué au profit des friches et des boisements (naturels et plantations) aussi bien dans les zones théoriquement plus accessibles que dans les zones enclavées, en particulier sur le Lestolet et le Stang Varric.

La PAC, incitant à l'implantation de cultures pour l'ensemble des systèmes de production, **a exercé une forte influence sur les zones humides, entraînant des opérations de drainage**. Son influence a été d'autant plus forte que certaines opérations de drainage ont été encouragées et subventionnées par les DDAF jusqu'en 1994.

La très forte baisse du nombre d'exploitants entre 1979 et 2000 **favorise l'accélération de l'abandon** des parcelles humides. Son impact est particulièrement élevé dans un contexte de production bovine.

La prise en compte de **l'intérêt des zones humides sur le plan environnemental entraîne la mise en place de moyens visant leur gestion et leur préservation** : contreparties financières dans le cadre des CTE, actions de sensibilisation sur le terrain menées dans le cadre du programme Bretagne Eau Pure sur le Lestolet (hiver 2002).

L'évolution de la démographie agricole constitue une forte contrainte à cette évolution, laissant supposer une tendance à la fermeture totale des zones humides du Coët-Dan et du Stang Varric en l'absence de moyens. Les mesures et programmes visant la préservation de l'environnement constituent des moyens intéressant pour éviter la fermeture des zones humides de fonds de vallées mais leur poids reste à évaluer.

6.2.3.2. Approche quantitative

La quantification des facteurs de changements des modes d'occupation est réalisée en faisant la régression multiple entre l'indicateur de l'occupation du sol estimé à l'échelle communale – le ratio « cultures / surfaces en herbe » – et l'ensemble des facteurs d'évolution disponibles à cette échelle (présentés en 2.2.2.1.). Elle est faite pour les dates auxquelles des données existent : 1955, 1970, 1979, 1988 et 2000. Les valeurs de (R), Bêta et de Signification sont présentées et commentées dans le tableau 16.

Année	Coefficient de corrélation (R)	Facteurs	Bêta	Signification	Commentaires
1955	0.742	**Niveau intégration**	**-0.862**	**0.000**	**Le facteur explicatif prépondérant est le niveau d'intégration** (Bêta = -0,862) à l'économie agricole (proximité des marchés locaux en 1955). Il est presque deux fois plus fort que le nombre de bovins (-0,473), c'est-à-dire que le système de production. **L'adhésion au modèle agricole breton n'a pas véritablement commencé**.
		Nbe Exploitants	-0.167	0.027	
		Cheptel bovin	**-0.473**	**0.000**	
		Cheptel porcin	-0.024	0.730	
1970	0.793	**Niveau intégration**	**-0.484**	**0.000**	Deux facteurs explicatifs sont prépondérants : le niveau d'intégration à l'économie agricole (Bêta de -0,484) et le nombre de bovins (Bêta de -0,508). Ceci montre que **le système de production**, basé sur la production laitière avec éventuellement des ateliers avicoles complémentaires, **influence l'évolution des types d'occupation des sols**. Le nombre de volailles est une variable significative mais légèrement moins prépondérante, dans le sens où le développement de la production avicole n'implique pas obligatoirement une augmentation des cultures.
		Nbe Exploitants	-0.192	0.028	
		Cheptel bovin	**-0.508**	**0.000**	
		Cheptel porcin	0.183	0.108	
		Cheptel avicole	-0.231	0.003	
		Propriété foncière	0.084	0.214	
1979	0.873	**Niveau intégration**	**-0.502**	**0.000**	Les résultats trouvés pour 1979 sont proches de ceux de 1970 car ils correspondent à la même période de production intensive. Des nuances se distinguent : la contribution significative du nombre d'exploitants, qui par sa baisse, va plutôt dans le sens d'une augmentation des surfaces en herbe (agrandissement et/ou extensification) ; la contribution assez significative du nombre de porcs et de volailles. **La production « hors-sol » porcine contribue à expliquer l'augmentation des proportions de cultures (début de l'inversement de la tendance)** sur certaines communes. La propriété foncière ne constitue pas une variable significative.
		Nbe Exploitants	-0.259	0.000	
		Cheptel bovin	**-0.498**	**0.000**	
		Cheptel porcin	0.202	0.012	
		Cheptel avicole	-0.159	0.011	
		Propriété foncière	0.091	0.087	
1988	0.784	Niveau intégration	0.237	0.100	Les valeurs montrent clairement que **le seul facteur explicatif prépondérant est le système de production** représenté par le nombre de porcs (Bêta = 0,699) et le nombre de bovins (Bêta = -0,424). Ces deux variables sont les seules significatives. Les conséquences des quotas laitiers (réduction des cheptels et baisse des surfaces en herbe) ont incité un nombre conséquent d'exploitants à s'orienter vers un système hors-sol. Il est intéressant de noter que, bien qu'ayant une faible signification, le nombre de volaille influe désormais dans le sens d'une augmentation des cultures. Le niveau d'intégration n'a plus de réelle signification dans l'explication de l'occupation du sol en raison de la prédominance de deux systèmes de production pouvant engendré un niveau d'intégration élevé alors qu'ils utilisent les terres de façon opposée.
		Nbe Exploitants	-0.230	0.014	
		Cheptel bovin	**-0.424**	**0.000**	
		Cheptel porcin	**0.699**	**0.000**	
		Cheptel avicole	0.020	0.843	
		Propriété foncière	0.036	0.670	
		Plan développement	-0.012	0.880	
2000	0.884	Niveau intégration	-0.103	0.431	**Là encore le système de production est le facteur explicatif dominant et réellement significatif.** Les quotas laitiers, ayant pour conséquence une baisse continue du nombre de bovins, et l'impact de la PAC (implantation de maïs fourrager) semblent avoir eu des répercussions deux fois plus fortes sur l'évolution de l'occupation du sol pour des exploitations en système bovin (Bêta = -0,631) que celles orientées dans un système « hors-sol » (Bêta = 0,330). On suppose que c'est la conjonction et de la baisse du nombre de bovins et de l'augmentation des cultures qui expliquent ce résultat car les données de télédétection ont montré une évolution plus forte des cultures sur le Coët-Dan que sur le Lestolet.
		Nbe Exploitants	-0.161	0.013	
		Cheptel bovin	**-0.631**	**0.000**	
		Cheptel porcin	**0.330**	**0.006**	
		Cheptel avicole	-0.112	0.165	
		Propriété foncière	-0.022	0.433	
		Plan développement	-0.015	0.713	
		Aide Cessation Activité Laitière	-0.050	0.810	

Tableau 16. Tableau de synthèse de la quantification du poids des facteurs explicatifs des changements d'occupation des sols à l'échelle communale

6.3. Conclusion partielle

L'identification, la spatialisation et la hiérarchisation des facteurs explicatifs des évolutions passées et présentes observées avaient pour objectifs d'expliquer ces évolutions différenciées et de déterminer les variables susceptibles d'entraîner des changements futurs, afin de construire *in fine* des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale.

La spatialisation et la hiérarchisation des facteurs de changements identifiés ont été fortement contraintes par la disponibilité des données existantes. C'est pourquoi la détermination de l'influence des facteurs de changements a été effectuée selon deux approches :

- une approche qualitative, permettant de prendre en compte l'ensemble des facteurs quelle que soit leur échelle de représentation,

- une approche quantitative, appliquée sur les données collectées à l'échelle communale.

Les résultats obtenus montrent le poids prédominant des mesures réglementaires (aménagements fonciers pour le bocage) et politico-économiques (sur l'occupation des sols et les zones humides) sur les trente dernières années. La logique économique a prévalu sur la logique territoriale : les structures paysagères constituent des contraintes croissantes pour l'utilisation et la gestion du territoire agricole, au point qu'elles sont soit abandonnées soit supprimées. L'influence du système de production ne se limite plus au choix des systèmes culturaux, il touche aussi de plus en plus la gestion des zones humides et dans une moindre mesure à celle du bocage. Les enjeux de gestion qui en résultent – politiques de valorisation, de replantation *versus* initiatives individuelles des exploitants agricoles pour s'affranchir de ces contraintes grandissantes – donnent toute la mesure de l'intérêt d'une modélisation prospective spatialisée à l'échelle locale.

Les résultats ont également permis de déterminer les échelles auxquelles les changements majeurs se produisent : l'exploitation agricole et, dans une moindre mesure, la commune. Les stratégies d'aménagement du territoire adoptées à ces échelles locales lors de la mise en place du modèle agricole breton, ou encore lors de la mise en oeuvre de politiques de gestion de l'agriculture (quotas laitiers, réforme de la PAC en 1992) ont eu des impacts sur le territoire agricole, plus ou moins marqués selon les sites, expliquant des évolutions similaires à une époque, contrastées voire antagonistes à une autre.

Ce chapitre a permis d'identifier les variables-clés (le système de production, les politiques agricoles, les mesures d'accompagnement, la configuration spatiale du territoire de l'exploitation -remembré ou non-, le milieu physique,…) qui interviennent actuellement dans les changements d'utilisation des terres à l'échelle des sites étudiés.

Toutefois, avant de construire de scénarios prospectifs, il est nécessaire de formaliser les relations entre toutes ces variables qui font évoluer les modes d'occupation des sols et les structures paysagères d'un territoire agricole bocager. En effet, la gestion des structures bocagères est étroitement liée à celles des modes d'occupation des sols, et plus largement à celle des exploitations agricoles (Baudry and Thenail, 2004). Il s'agit d'identifier les processus qui interviennent dans l'évolution des paysages.

CHAPITRE 7 - L'évolution d'un paysage agricole bocager : Représentation systémique et enjeux prospectifs vis-à-vis de la qualité de l'eau

Ce chapitre appréhende, à partir d'une part de la reconstitution des trajectoires de changement et de l'identification des facteurs de changement effectuées dans les deux chapitres précédents et d'autre part d'une réflexion sur les changements futurs, le fonctionnement du système « Paysage agricole bocager » afin d'identifier les variables qui influent et/ou influeront directement ou indirectement sur les changements des modes d'occupation/utilisation des sols et des structures paysagères et par conséquent sur la qualité de l'eau.

Ainsi, ce chapitre aborde successivement : la représentation de l'évolution d'un paysage bocager, à travers une analyse systémique qui permet de mettre en évidence les relations de causalité qui existent entre les facteurs de changement qui ont été identifiés sur les sites d'étude ; L'identification et l'analyse des processus qui font évoluer les paysages agricoles étudiés ; Enfin, le dernier objectif est de présenter les facteurs de changements futurs dont il faudra tenir compte lors de la construction des scénarios prospectifs, mais également les facteurs clés qui nous interrogent sur l'évolution des paysages agricoles bocagers à l'échelle parcellaire et de ces incidences sur les ressources en eau.

7.1. La représentation systémique de l'évolution d'un paysage agricole bocager

Le chapitre 6 a permis de mettre en évidence les facteurs explicatifs des changements passés et actuels des modes d'occupation des sols et des structures paysagères. Toutefois, les interrelations entre ces facteurs et leur évolution temporelle, difficiles à appréhender, n'ont pas encore été étudiées. Or, cela constitue un préalable indispensable à la construction de scénarios, dans la mesure où le système évolue à travers les modifications qui interviennent au niveau de ces facteurs. L'analyse systémique constitue *a priori* la méthode la plus appropriée pour expliciter le rôle de chacun des facteurs de changement et leurs interrelations. En outre, cette méthode permet : (1) de mettre en évidence d'une part les échelles auxquelles les changements se produisent et d'autre part les niveaux auxquels sont prises les décisions qui peuvent engendrer de façon directe ou indirecte ces changements ; et (2) d'identifier les différents acteurs qui interviennent dans l'évolution des paysages agricoles étudiés.

7.1.1. Le système « Paysage agricole bocager »

Le système « Paysage agricole bocager » est représenté par la figure 91 p. 182.

Les variables -ou facteurs de changement-, qui font évoluer de façon directe ou indirecte ce système, relèvent de plusieurs dimensions : la dimension géographique, qui témoigne de l'influence de la configuration géographique d'un lieu ; la dimension technique, qui décrit les moyens mobilisables pour la gestion d'un territoire agricole, quelle que soit la structure

considérée (exploitation, coopérative, association…) ; la dimension économique, qui régule les productions (agricoles, d'eau…) aux échelles locales, régionales, nationales et internationales ; la dimension politico-réglementaire, qui donne un cadre de conformité aux pratiques (gestion de l'eau, pratiques agricoles…) répondant aux contraintes économiques et environnementales ; la dimension foncière, qui donne un cadre territorial à la gestion de l'espace ; la dimension humaine ou socio-culturelle qui rend compte des dynamiques liées aux populations et aux perceptions et choix de cette population ; enfin, la dimension environnementale qui met en avant les enjeux environnementaux de la gestion durable des paysages agricoles bocagers. Les changements qui interviennent au sein de ce système sont produits à différentes échelles.

7.1.2. A l'échelle de l'utilisation du territoire : l'exploitation agricole, niveau clef de l'évolution du paysage

L'exploitant agricole, par ses activités de production, d'entretien et d'aménagement de son territoire, constitue le premier facteur explicatif des changements observés dans un paysage agraire (Thenail, 1997 ; Papy, 1999) ; l'agrégation des exploitations agricoles explique l'évolution du paysage agricole. L'hydromorphie des sols, les pentes et la pédologie influencent la localisation des modes d'occupation et d'utilisation des sols (Morlon, 2005 ; Mathieu *et al.*, 2005). L'allocation spatiale des types d'occupation des sols, l'utilisation des zones humides de fond de vallée et l'entretien du bocage dépendent de la localisation des parcelles agricoles au sein de l'exploitation, et notamment de leur distance au siège d'exploitation (Morlon, 2005 ; Joannon *et al.*, 2005). Les proportions d'occupations des sols (cultures, prairies) et leurs modes d'allocation spatiale sont différents d'un système de production à un autre. De plus, les travaux de Thenail et Baudry, 2001 et Baudry *et al.* (2003) ont montré que l'exploitant agricole est amené à adapter l'assolement et les règles d'allocation des cultures dès lors que des changements interviennent sur les structures foncières et la configuration spatiale d'une exploitation.

L'adoption d'un système de production dépend de plusieurs facteurs : du choix et des convictions de l'agriculteur ; d'une demande économique en biens alimentaires qui pourront être écoulés soit dans un marché de proximité, soit dans un marché national ou international à l'aide des réseaux de collecte ou de transformation des Industries Agro-Alimentaires ; du contexte géographique local, c'est-à-dire des potentialités agronomiques des terres et de la configuration spatiale de l'exploitation (éclatement ou regroupement des parcelles) ; des structures locales existantes, CUMA ou ETA (Inversement, les exploitations agricoles, en fonction de leurs besoins en matériels agricoles, influent sur leur présence, ce qui peut inciter à la concentration d'exploitations ayant le même système de production).

Le système de production est également influencé par le marché du foncier agricole. Les enjeux en matière d'agrandissement foncier (augmentation des productions et des revenus, gestion des épandages, etc.) fluctuent en fonction des systèmes de production des exploitations agricoles voisines et/ou intéressées par les terres d'une exploitation en cessation d'activité. Enfin, la rurbanisation, voire dans une moindre mesure la recherche de résidences secondaires, influence l'évolution des exploitations et de leur système de production.

7.1.3. Aux échelles de la gestion territoriale (commune, bassin, Région)

A ces échelles, ce sont les facteurs d'ordre politico-réglementaires qui sont prépondérants dans l'évolution d'un paysage agricole.

Des changements se produisent à la faveur d'actions enclenchées dans le cadre de programmes régionaux ou de directives européennes (programme Bretagne Eau Pure, Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux…). Ainsi, à l'échelle du bassin versant, des mesures incitatives et d'accompagnement sont prises pour améliorer le rôle anti-érosif, hydrologique et épurateur du bocage, la préservation voire la restauration de certaines fonctionnalités, notamment dénitrifiantes, des zones humides de fonds de vallées. Par exemple, le programme HARMONIE mis en place par la Région Bretagne en 1994 permet de financer des aménagements paysagers à travers la plantation de haies autour des bâtiments d'exploitation pour favoriser leur intégration dans le paysage. Depuis 2002, il ne possède plus seulement une vocation paysagère et vise à mettre en cohérence la fonctionnalité de l'agriculture avec l'amélioration et la préservation du milieu naturel (Ligneau, 2002). Ces replantations sont contractualisées soit directement avec un exploitant, soit avec une commune.

Les communes ou communauté de communes, dans le cadre d'aménagements fonciers (remembrements) ont une influence directe sur les changements d'un paysage agricole bocager. Les PLU (Plan Local d'Urbanisme) influencent aussi l'évolution de l'utilisation des terres en fonction de la détermination des parcelles constructibles et des zones naturelles non constructibles telles que les parcelles humides de fonds de vallées.

Des réglementations telles que les ZAC[19] (Zones d'Actions Complémentaires) mises en place à l'échelle du canton influencent l'occupation hivernale des sols en imposant à l'exploitant agricole d'implanter un couvert hivernal au cours de la période d'intercultures. A l'instar des CTE (Contrats Territoriaux d'Exploitation) individuels, les CTE collectifs obligent les exploitants à gérer le paysage de leur exploitation (gestion du bocage et/ou des zones humides).

7.1.4. Aux échelles globales des régulations (Etat, International)

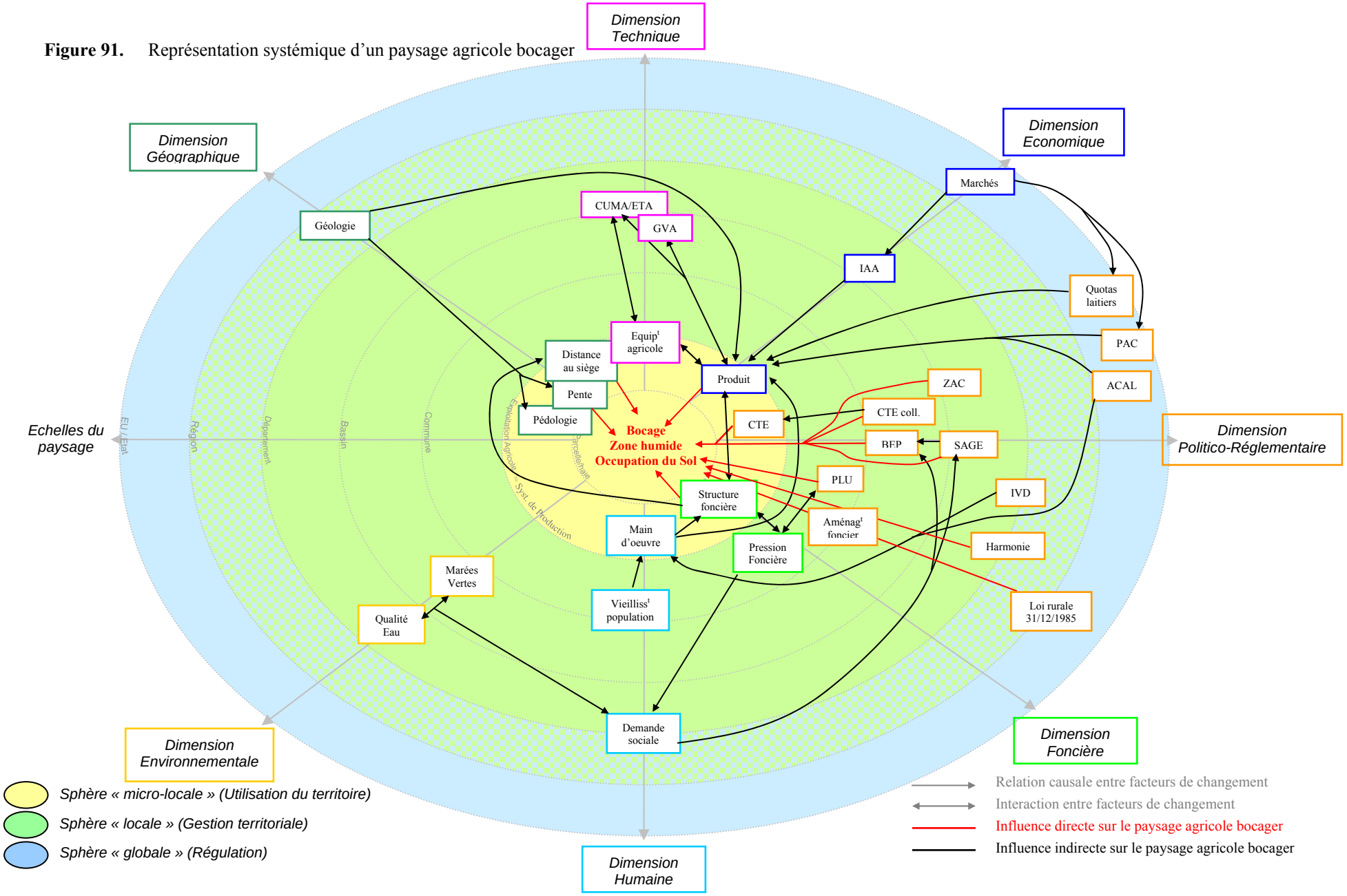
L'échelle de l'exploitation agricole, au travers des convictions et des choix de l'exploitant, est le niveau intégrateur de l'ensemble des politiques agricoles et environnementales de l'Union Européenne (UE) et des textes réglementaires mis en place par l'Etat.

Toute réforme de la Politique Agricole Commune (PAC) ou modification de la réglementation sur l'environnement comme par exemple la Directive Cadre Européenne (DCE), peut conduire à des évolutions de l'assolement, à des changements de système de production ou d'itinéraire technique (utilisation des parcelles humides…). Ainsi par exemple, la réforme de la PAC de 1992 a eu des conséquences importantes sur l'occupation des sols en Bretagne. Le système de primes allouées à certaines cultures (céréales, maïs fourrager) a fortement encouragé leur implantation au détriment des prairies temporaires, dont la baisse a été limitée par la mise en place des Mesures Agri Environnementales (MAE) à partir de 1992

De même, les lois sur l'aménagement foncier et rural définissant les procédures d'aménagement ont beaucoup évolué et intègrent, depuis la loi du 31/12/1985, des mesures de protection des haies et talus en renforçant les interdits en matière d'arrachage, de coupe d'arbres et de haies.

[19] Les ZAC sont définies par la Directive Nitrates qui oblige les agriculteurs concernés à implanter des couverts végétaux pour couvrir la totalité de leur SAU. Ces couverts peuvent être des prairies, une culture d'automne (colza, blé), une Culture Intermédiaire Piège A Nitrates - CIPAN -, la repousse de la culture précédente ou encore les résidus de certaines cultures (maïs grain, certaines cultures légumières, récoltées après le 31 octobre et non suivies d'une culture d'hiver).

Figure 91. Représentation systémique d'un paysage agricole bocager



7.2. Les processus d'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères

L'analyse systémique de l'évolution d'un paysage agricole bocager montre le poids de l'exploitation agricole dans sa construction et sa transformation progressive. L'agriculteur est à la fois producteur de biens alimentaires et gestionnaire du paysage, les deux pouvant être intimement liés (cas des types d'occupation des sols) ou non (gestion du bocage par exemple). C'est donc au niveau des pratiques de l'agriculteur que les processus de changements des paysages agricoles bocagers se produisent.

7.2.1. Méthodologie

L'identification des processus d'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols et des structures paysagères a été réalisée à partir : de l'analyse des trajectoires d'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols et des structures paysagères pour les trois sites d'études ; d'entretiens avec des experts (Bernard Clément pour les zones humides de fond de vallée ; Jacques Baudry, Claudine Thenail et Valérie Viaud pour les questions relatives aux pratiques agronomiques et de gestion du bocage) et des acteurs dans l'agriculture (Annie Charter de la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor et des agriculteurs) ; de la bibliographie (Baudry et Jouin, 2003 ; Baudry and Thenail, 2004 ; Viaud, 2004 ; Thenail, 1996 ; Thenail, 1997 ; Geslot, 2005 ; Menasseri, 2004), d'enquêtes de terrain effectuées auprès d'un échantillon de 167 agriculteurs dont les exploitations sont situés sur les sites d'études mais aussi dans d'autres secteurs en Bretagne –le Coglais près de Fougères, le pays Bigouden près de Quimper, le pays Vannetais et l'Est de Saint Méen-le-Grand (Geslot, 2005 et Menasseri, 2004). Ces enquêtes reprennent des points essentiels de la synthèse méthodologique présentée par Mathieu *et alii* (2005).

La démarche utilisée est déductive : partant des observations locales, des hypothèses sont émises pour être ensuite confrontées aux experts et acteurs locaux (agriculteurs et représentants agricoles), avant d'être généralisées.

Les changements sont contrôlés suivant des intensités et des temporalités variables par des processus différenciés selon qu'il s'agisse des parcelles de la surface agricole hors zones humides de fonds de vallées, des zones humides de fonds de vallées, du réseau bocager ou encore de la structure du parcellaire sur l'ensemble du bassin versant.

7.2.2. Les processus d'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols

7.2.2.1. L'assolement à l'échelle de l'exploitation

L'agriculteur adopte un système de production, c'est-à-dire un type de production (élevage bovin, porcin, cultures maraîchères…) et un mode de production (intensive, extensive, biologique…). Il définit alors un assolement, c'est-à-dire la répartition annuelle des types d'occupation des sols sur son exploitation pour assurer la production nécessaire au fonctionnement de son exploitation, en fourrage par exemple.

L'assolement varie d'un agriculteur à un autre, mais il ne peut être appréhendé individuellement. D'une manière générale, les typologies des exploitations agricoles sont potentiellement très variées (Mignolet, 2005). L'étude de Geslot (2005) a montré qu'en

l'absence d'informations disponibles sur les systèmes de production, une première différenciation peut être réalisée, que ce soit à une échelle macro ou micro économique, à partir de données structurelles comme l'Orientation Technico-économique des Exploitations (OTEX), afin de différencier les types de production « Grande Culture », « Horticulture », « Cultures permanentes », « Herbivore », « Granivores » et « Mixte ». Cette typologie peut être affinée lorsque des données existent sur les systèmes de production (extensif, bio, intensif…).

Ainsi, à partir des données cartographiques des limites des exploitations (identification des parcelles utilisées par un agriculteur)[20], des cartes récentes d'occupation des sols et des photographies aériennes, il a été possible de dériver des valeurs moyennes d'assolement (tableau 17) pour les systèmes de production identifiés sur les sites d'étude. Les assolements correspondent à la proportion de prairies (temporaires + permanentes), de maïs (fourrage + grain) et des céréales / oléoprotéagineux (blé, lin, orge, colza…). Ces valeurs ont ensuite été confrontées aux valeurs observées pour l'ensemble des exploitations enquêtées.

	Systèmes de production	**Assolement après la réforme de la PAC de 1992**		
		Prairies	*Maïs*	*Céréales / oléoprotéagineux*
1	**Bovin lait et/ou viande**	65 %	20 %	15 %
2	**Mixte bovin + volaille**	55 %	30 %	15 %
3	**Mixte bovin + porc**	70 %	15 %	15 %
4	**Porcin « option cultures »**	10 %	10%	80%
5	**Volaille**	35 %	55 %	10 %
6	**Bovin extensif / bio**	90 %	5 %	5 %
7	**Porc « Opt° Cult » + Lait**	30 %	5 %	65 %
8	**Equin**	100 %	0 %	0 %
9	**Mixte Lait + Lapin**	60 %	30 %	10 %
10	**Cultures Industrielles**	15 %	25 %	60 %
11	**Mixte Volaille + lait**	30 %	30 %	40 %
12	**Porcin « option FAF »**	5 %	45 %	50 %
13	**Porcin « FAF » + Lait**	30 %	30 %	40 %
Commentaires : Les productions granivores (porc, volaille, lapin) sont des productions réalisées dans des ateliers hors-sol. Porcin « Option culture » : la production granivore est la production principale et les aliments sont achetés à l'aide des cultures de ventes. Porcin « FAF » : Fabrication d'Aliments à la Ferme issue des productions végétales.				

Tableau 17. Assolements moyens des systèmes de production recensés sur les sites d'études à partir des enquêtes terrain et des données cartographiques

[20] Ces données sur les sites d'étude ont été acquises à partir des enquêtes terrain auprès des agriculteurs (déclarations graphiques PAC) et de conventions d'échange de données avec la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor et le Syndicat Mixte de Kerné Uhel pour le Lestolet (dans le cadre des actions de bassin versant : projets agronomiques, diagnostics phytosanitaires), avec la Communauté de Communes de Plouay pour le Stang Varric (dans le cadre de la mise en place d'un plan d'épandage) et d'échange de données avec le CEMAGREF et l'INRA pour le Coët-Dan.

Il existe parfois des décalages entre les assolements de certaines exploitations et les valeurs moyennes (pouvant aller jusqu'à plus ou moins 10-15%). Par exemple, après une sécheresse prononcée, les besoins en fourrages son tels que les exploitants sont obligés d'implanter essentiellement des prairies temporaires et/ou du maïs fourrage. Cela a été observé par exemple après la sécheresse de 2003 sur certaines exploitations des sites d'étude. D'autres contraintes (agronomiques, conditions climatiques défavorables aux semis, lourds investissements, etc.) ou mode de gestion (vision à court terme destinée à répondre aux stricts besoins de l'année à venir) peuvent influer sur les assolements annuels à l'échelle d'une exploitation.

7.2.2.2. Les rotations culturales

L'assolement est réalisé dans chaque exploitation suivant un itinéraire technique (ensemble des successions et rotations culturales sur son territoire), afin d'obtenir les meilleurs rendements possibles.

Les types d'occupation des sols dépendent directement des systèmes de production. Dans les régions d'élevage telle que la Bretagne, les prairies temporaires (ray-grass anglais ou italien), le maïs, les céréales et oléo-protéagineux constituent les cultures principales les plus courantes. Les exploitants agricoles raisonnent l'utilisation de leurs parcelles en fonction des conditions physiques du milieu (pente, type de sol, degré d'hydromorphie…), mais aussi en fonction de l'organisation de leur travail : distance au siège d'exploitation, taille des parcelles, éclatement du parcellaire de l'exploitation, successions agronomiques (Corgne, 2005 ; Thenail et Baudry, 2001 ; Thenail, 1996). Ainsi par exemple, bien que les prairies permanentes généralement localisées dans les zones humides de fonds de vallées sont comptabilisées dans l'assolement, seules les parcelles non humides font l'objet de rotations culturales.

Les rotations culturales ne sont toutefois pas régulières dans le temps et possèdent une certaine stochasticité. En effet, au cours d'une période de 7 ans comprenant 4 années de prairie, 2 années de maïs et 1 année de céréales, le nombre de combinaisons possibles respectant des logiques agronomiques de successions est très important. Dès lors, les successions culturales développées pour prendre en compte ces combinaisons multiples seront présentées dans le processus de simulation des successions culturales élaboré pour les scénarios prospectifs (3ème et 4ème parties).

7.2.3. Les processus d'évolution des zones humides de fonds de vallées

Deux types de changements affectent les zones humides : un changement morphologique (régression ou extension spatiale), et un changement de composition (occupation des sols).

7.2.3.1. Extension / régression spatiale des zones humides

La régression spatiale des zones humides effectives s'explique par le drainage de parcelles qui vise à transformer des prairies permanentes hydromorphes en terres arables. Désormais interdits par la loi, des drainages ponctuels, qui sont le fait d'initiatives individuelles, se produisent encore. L'extension spatiale des zones humides effectives se produit lorsque les caractéristiques hydromorphes d'une parcelle sont rétablies. Ce peut être notamment le cas lors d'une recherche d'optimisation du potentiel dénitrifiant d'une zone humide par le biais de petits aménagements hydrauliques (Clément, 2001).

7.2.3.2. Les changements des types d'occupation des sols au sein des zones humides

L'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols des zones humides est étroitement liée au système de production, à la distance des parcelles au siège d'exploitation, à leur accessibilité et à leur taille. Le choix du système de production conditionne l'utilisation ou non de la zone humide comme surface de pâture et/ou de fourrage. La taille et l'accessibilité de la parcelle humide (distance au siège d'exploitation, localisation dans une vallée encaissée ou non) sont des conditions importantes pour leur utilisation (Baudry and Thenail, 2004). De plus, le temps nécessaire à la gestion de ces espaces ainsi que des linéaires boisés peut amener l'exploitant à les abandonner ou à les araser afin d'améliorer ses activités de production, ou à l'inverse à les entretenir en fonction de leurs fonctions écologiques (Thenail and Baudry, 2005).

L'évolution des zones humides répond à des processus complexes. En cas d'abandon, certaines prairies permanentes évoluent en friches, et certaines friches en bois. La vitesse de ce changement dépend du mode de valorisation de ces espaces (pâturage intensif ou extensif, fauche ou les deux) et donc du système de production ainsi que de la taille et de l'éloignement des parcelles humides au siège d'exploitation.

En ce qui concerne les prairies permanentes, le passage en friches concerne, dans le cas des systèmes bovin lait et/ou viande et bovin extensif, les petites parcelles de prairies permanentes éloignées qui ont plus de 5 ans. Pour les systèmes mixtes, sont concernées les petites et moyennes parcelles de prairies éloignées de plus de 7 ans, et pour les systèmes hors-sol l'ensemble des parcelles de plus de 7 ans. Le passage des friches en bois connaît aussi des vitesses de changement différenciées : sont concernées les friches de plus de 12 ans pour le système bovin lait et/ou viande ; les friches de plus de 17 ans dans les cas de systèmes mixtes ; les friches de plus de 7 ans dans le cas de systèmes hors-sol. Ces vitesses d'évolution ont été estimées à dires d'expert (B. Clément, communication orale).

7.2.4. Les processus d'évolution de la structure bocagère

L'évolution de la structure bocagère dépend de deux processus : l'arasement et la création de haies.

7.2.4.1. Les arasements de haies

Les arasements sont aujourd'hui le fait d'initiatives individuelles car ils sont théoriquement interdits par la loi. Ces arasements sont motivés par l'accroissement des rendements agricoles liés à l'augmentation de la surface emblavée.

Les arasements observés sont fonction des types d'occupation du sol au voisinage de la haie, de la taille du parcellaire au voisinage de la haie, de leur distance au siège d'exploitation et des limites d'usages des terres entre deux exploitations. Les haies situées à proximité des sièges d'exploitation et des prairies destinées aux pâtures qui servent de protection pour le cheptel. Les haies localisées entre deux exploitations sont maintenues afin de marquer les limites d'usage ou de propriété. Enfin, lorsqu'une parcelle est louée par un exploitant, la haie est conservée car elle appartient au propriétaire de la parcelle. Les baux de fermage précisent que son entretien est obligatoire une fois tous les 9 ans. De même, il a été constaté que les haies bordant les routes et les haies de ceintures sont majoritairement conservées, les arasements concernant essentiellement les haies situées au sein du parcellaire d'une exploitation, et plus particulièrement au sein d'îlots de cultures.

7.2.4.2. La création de haies

La création de haies a longtemps été effectuée autour des sièges d'exploitation dans le but d'une meilleure intégration des bâtiments d'élevage dans le paysage. Désormais, elles se localisent majoritairement le long des routes et chemins d'exploitation, ainsi qu'autour des zones humides de fonds de vallées, dans le cadre d'actions de reconquête de la qualité de l'eau.

7.2.5. Les processus d'évolution des structures foncières

7.2.5.1. L'évolution de la taille du parcellaire

La tendance observée sur la période étudiée témoigne d'une augmentation croissante de la taille du parcellaire. Elle est issue d'une simplification du travail en lien avec l'agrandissement des exploitations. L'agrandissement du parcellaire provient du regroupement de parcelles agricoles, pouvant engendrer l'arasement des haies qui les séparaient initialement. La taille relative des parcelles est le facteur qui influe majoritairement sur l'évolution de la structure parcellaire d'un territoire agricole. Cet agrandissement est souvent pratiqué sur des parcelles sur lesquelles l'agriculteur souhaite implanter des cultures. Les trajectoires d'évolution des limites parcellaires ont par ailleurs démontré que ce sont les parcelles de petites et moyennes tailles (relativement à l'ensemble du parcellaire d'une exploitation) qui sont réunies.

7.2.5.2. L'évolution des structures spatiales des exploitations agricoles

Peu de recherches portent sur l'impact des changements de la structure foncière des exploitations sur l'usage des terres, car les mécanismes qui régissent ces changements sont très mal connus. De plus, les données sur la structure foncière actuelle des exploitations sont d'une manière générale difficilement accessibles. L'agrandissement des exploitations est lié à la forte diminution de la population active agricole en Bretagne (-42% des effectifs entre 1990 et 1999 d'après le Conseil Régional de Bretagne, 2002) et à l'absence de repreneurs dans certains secteurs. Les observations récentes montrent que l'agrandissement d'une exploitation se réalise essentiellement par une reprise (1) de la totalité d'une exploitation proche, ou (2) de quelques parcelles suite au démembrement d'une exploitation.

La cessation d'activité d'un exploitant peut conduire soit à la reprise de son exploitation par un nouvel agriculteur (reprise par le fils par exemple) ou par un ou plusieurs agriculteurs voisins. Ainsi, aujourd'hui, près de 90% des exploitants agricoles sont fils d'agriculteurs (Remy, 2005). Mais la reprise par un successeur familial est moins prépondérante qu'auparavant, notamment grâce aux diverses formes sociétaires que peuvent adopter les exploitations : le GAEC (Groupement Agricole d'Exploitation en Commun) qui peuvent être familiaux ou non et faciliter la transmission du capital d'exploitation ; l'EARL (Exploitation Agricole à Responsabilité Limitée mise en place par la loi du 5 juillet 1985) qui permet de détacher le destin de l'exploitation de celui de la famille de l'exploitant en mettant le patrimoine familial à l'abri des créanciers de l'exploitation (Remy, 2005) et de faciliter la reprise par un tiers. Cependant, la baisse constante du nombre des installations est réelle et ne s'accompagne pas automatiquement d'un abandon des terres délaissées par ceux qui quittent le métier sans trouver de successeur. Les exploitations sont alors abolies, démembrées et contribuent au processus d'agrandissement des exploitations voisines (Remy, 2005). Quel que soit le cas, l'augmentation de la taille de la ou des exploitations a des incidences sur les modes d'utilisation des terres. Thenail et Baudry (2001) et Baudry *et al.* (2003) ont montré que

l'exploitant est amené à adapter son assolement et ses règles d'allocation des cultures en fonction de la configuration spatiale de son exploitation.

7.3. Détermination des tendances futures et germes de changements

La détermination des trajectoires d'évolution d'un territoire et l'identification des facteurs explicatifs des changements observés soulèvent des interrogations sur l'avenir de ce territoire en fonction de l'impact d'un facteur de changement actuel ou futur.

Quelles hypothèses prospectives concernant l'évolution de l'occupation des sols et des structures paysagères est-il intéressant de tester ? Et quelles seront leurs conséquences sur les ressources en eau à l'échelle locale ? Ce sont ces questionnements qui vont faire l'objet de scénarios prospectifs.

Ces hypothèses s'inscrivent dans une problématique de devenir à l'échelle locale, mais pour être plausibles, elles doivent être en concordance avec les tendances démographiques, économiques, structurelles futures d'un territoire plus vaste.

7.3.1. Un cadre de conformité : les tendances sub-régionales, régionales et globales

Nous présentons ici quelques grandes tendances issues de la bibliographie pour recadrer dans un contexte général les enjeux prospectifs des trois sites d'étude.

7.3.1.1. La démographie bretonne

D'après les scénarios de l'INSEE (INSEE, 2001), la population bretonne continue de croître jusqu'en 2030, mais suivant des disparités spatiales conformes aux tendances des 20 dernières années (figure 92). Le Stang Varric et le Coët-Dan sont situés dans des zones relativement stables en terme de densité (comprises entre -3 et +3%). Le Lestolet est, quant à lui, caractérisé par la dévitalisation de son tissu rural.

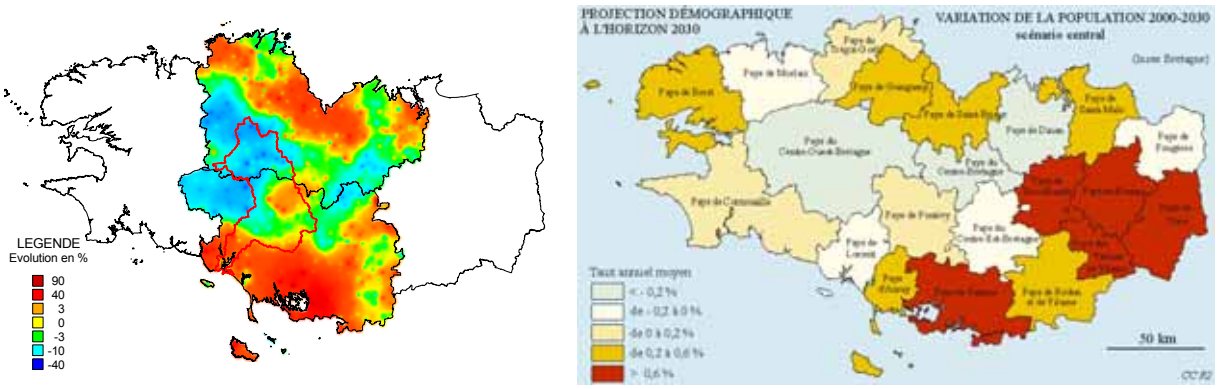


Figure 92. Evolution des densités de population entre 1982 et 1999 dans les départements des Côtes d'Armor et du Morbihan – le bassin versant du Blavet est détouré en rouge – (INSEE 1982 et 1999) et projections démographiques à l'horizon 2030 (source : INSEE, 2001 *in* Conseil Régional de Bretagne, 2003)

7.3.1.2. L'agriculture bretonne

Un des premiers éléments à prendre en compte est la nouvelle réforme de la PAC adoptée le 26 juin 2003 et mise en place en France à partir de début 2006. Au regard des conséquences de la dernière réforme de la PAC en 1992 (primes aux céréales), les interrogations sont grandes quant au devenir des modes d'occupation et d'utilisation des sols.

Les tendances d'évolution de l'agriculture bretonne sont relativement difficiles à appréhender. D'une manière générale, les Industries Agro-Alimentaires (IAA) en place poussent tendanciellement à ce que l'agriculture bretonne reste tournée vers l'extérieur. La spécialisation animale bretonne est plus en cohérence avec l'évolution de la demande mondiale qu'avec celle de la France et de l'Europe (Mahé, 2000). Toutefois, elle reste très exposée à la concurrence internationale (Amérique du Sud, Etats-Unis, Pays de l'Europe Centrale et Orientale, …). Faute d'alternatives qui pourraient émerger, le « modèle agricole breton » s'adapterait aux contraintes économiques et réglementaires actuelles et favoriserait ainsi la concentration des exploitations les plus fortes économiquement. C'est la situation attendue pour la production laitière d'ici 2012 (Institut de l'élevage, 2004). De nombreuses études ont montré que des alternatives sont non seulement possibles, mais souhaitables tant sur le plan environnemental qu'économique et social (Douguet et Schembri, 2000 ; Layadi, 2004, Mahé, 2000). Ces alternatives reposent à la fois un soutien régional par le biais de politiques adaptées et des initiatives de l'agriculteur. Elles prônent la diversification de l'agriculture, avec une amélioration tendancielle de la qualité des produits (sécurité alimentaire, traçabilité, normes environnementales) mais suivant des gammes variables destinées à des marchés bien différenciés (marché de masse, marché de gammes moyennes, marché de qualité). Selon Layadi (2004), ce dernier secteur constitue une opportunité pour l'agriculture bretonne car le niveau de technologie actuel et la forte identité régionale sont des outils nécessaires pour assurer le « *continuum qualité* » entre la production alimentaire et des pratiques respectueuses des territoires et de leur environnement.

Dès lors, l'avenir de l'agriculture bretonne peut arborer une grande diversité de visages possibles à l'échelle de l'exploitation. Douguet et Schembri (2000) décrivent quatre facettes possibles de cette agriculture sur les plans économique, environnemental et social : « intensive-productiviste », « raisonnée », « économe » et « biologique ». Layadi (2004) quant à lui décrit trois visages d'un projet de développement économique et durable de l'agriculture pour la Région Bretagne : « le visible, le palpable et le caché » (encadré 4).

Enfin, un dernier point concerne les tendances d'évolution de la taille des exploitations agricoles. En 1998, la taille moyenne des exploitations bretonnes est de plus de 30 ha, plus de 55% de la SAU appartenant à des exploitations de plus de 50 ha (Agreste, 1998). Les projections de l'Institut de l'élevage (2004) prévoient à l'horizon 2012 une augmentation moyenne de la taille des exploitations de +15 à +20 ha.

Le visible, le palpable et le caché : principes pour un projet agricole

La définition d'un projet agricole durable pour la Bretagne doit prendre acte de trois idées-force émanant de la confrontation d'un territoire structuré par les acquis du CELIB et des évolutions de marchés agricoles en rapide voie de segmentation.

Le premier postulat semble indiqué qu'il est désormais illusoire pour la Bretagne de bâtir un projet agricole pérenne en ciblant les marchés mondiaux. Les structures de coûts sont largement défavorables. Les marchés de moyennes gammes ne présentent pas non plus une garantie satisfaisante car l'essentiel de l'agriculture européenne s'y engouffrera. Par ailleurs, ces gammes moyennes ne peuvent prétendre résoudre l'équation environnementale bretonne. La bonne solution semble être de miser sur les marchés à haute valeur ajoutée seuls susceptibles d'internaliser les coûts de l'environnement te de les restituer sous la forme d'un avantage comparatif traduit en terme de stratégie de séduction commerciale.

La seconde déterminante doit prendre acte de l'apparition d'une sémiotique à laquelle le consommateur réagit parfaitement. Dans une société qui a perdu de vue les usages productifs de l'espace rural, qualité de l'environnement et qualité des produits agricoles sont étroitement liés. La reconquête de la qualité de l'ensemble des actifs naturels doit être considérée aussi bien en sa qualité d'objectif environnemental que commercial et social. […]

La troisième déterminante tient dans le fait qu'il est inenvisageable de rayer la production hors-sol de l'espace breton. Ses effectifs en production primaire sont certes déclinants, […] mais le maillage industriel assurant la transformation est déterminant pour l'irrigation des tissus ruraux.

Le territoire comme vecteur de commercialisation : rendre visible l'agriculture liée au sol

Un des premiers éléments de stratégie à mettre en œuvre est la conception d'une ingénierie agro-paysagère ayant pour finalité, outre son rôle écologique dans la régulation des lessivages, de fournir un contenu immatériel à l'offre bretonne et de rompre avec l'image d'une région notoirement polluée et aux bocages démembrés. Il s'agit de prouver par la reconstitution paysagère que le territoire breton n'est plus utilisé comme une plate-forme de production mais bien en tant qu'indicateur visible d'un changement d'attitude de l'exploitant. Il doit devenir le meilleur vecteur de commercialisation. […]

Stratégie de diversification de l'offre-produit et écocompatibilité : le palpable

[…] Trois principes pourraient guider les filières et compléter de manière palpable la reconstitution du lien agriculture-territoire à travers l'invention d'une sémiotique paysagère. L premier concerne l'impératif interdiction des OGM provenant de Bretagne […] se prévalant ainsi d'une éthique des produits. Le second repose sur une recherche dans la diversification de la qualité des produits. […]. Le troisième a pour objectif d'accroître la diversification des productions […] sur des secteurs bien ciblés (spécialités locales qui pourraient constituer des AOC bretonnes […].

Le recours au management environnemental : le caché

[…] Il s'agit cette fois de cacher la partie la plus intensive de la production intensive (potentiel porcin) en la rendant totalement *extraterritoriale* tant dans sa dimension environnementale que paysagère. Comme pour des sites industriels classiques, l'agriculture industrielle se fera discrète dans le paysage, […] suivant une conception architecturale et fonctionnelle à imaginer.

Encadré 4. « Le visible, le palpable et le caché : principes pour un projet agricole en Bretagne » (*in* Layadi, 2004, pp. 212-218)

7.3.1.3. Les politiques régionales

En ce qui concerne l'espace rural, les points évoqués dans le paragraphe précédent concordent avec les tendances en matière de politiques régionales. Les expressions « Qualité et cadre de vie » et « Exigence du développement durable » sont parmi les maîtres mots du Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire à l'horizon 2015 (Conseil Régional de Bretagne, 2003).

7.3.1.4. La question des changements climatiques

La problématique de l'avenir des modes d'usage des terres nécessite bien évidemment de prendre en compte la question du changement climatique. Les changements climatiques peuvent aussi affecter les productions agricoles en fonction de l'évolution de la pluviométrie et des températures. Les travaux du GIEC (2001) prévoient en Europe du Nord une légère augmentation de la pluviométrie au printemps, à l'automne et en hiver (0 à +3% par décennie) et une réduction en période estivale (-1,8 à -0,8% par décennie). Toutefois ces prévisions sont faites pour les horizons 2050 et 2100, laissant entendre que ces changements affecteront peu les productions agricoles dans les prochaines années. Mais un autre aspect possible du changement climatique concerne les événements climatiques extrêmes (fortes pluies, vagues de chaleur, sécheresses, tempêtes…). Ils induisent des calamités agricoles et le 3ème rapport du GICC prévoit une hausse de la fréquence de ces extrêmes (Olive, 2002). Les sécheresses de 2003 et 2005 qui ont touché la Bretagne et la France en général en sont un exemple.

7.3.1.5. Les nouvelles contraintes environnementales : la DCE et les SAGE

Bien évidemment, la mise en place de la DCE et du SAGE Blavet constitue un contexte à prendre en compte dans un avenir à moyen et long terme (2015-2030). Les obligations en matière d'environnement vont permettre de mettre en évidence les marges de manœuvres du SAGE et éventuellement des sources de conflits entre différents usagers.

7.3.2. Les problématiques prospectives à l'échelle locale

La réunion participative avec les experts et acteurs locaux dont le but était d'identifier les facteurs explicatifs des changements observés (annexe 11) a également permis de soulever des facteurs et des enjeux en lien avec l'évolution future des modes d'utilisation des sols et des structures paysagères

7.3.2.1. Sur le plan de la sociologie et de la démographie

Le premier point concerne le problème du vieillissement de la population (surtout pour le Lestolet) et d'une manière plus générale la réduction croissante du nombre d'exploitants agricoles. Quelles vont être les répercussions de ces tendances ? Le second point découle du premier. En lien avec ces tendances démographiques et des évolution des zones humides de fonds de vallées, quelles sont les conditions/moyens nécessaires pour freiner voire inverser la tendance de fermeture des zones humides ? Enfin, troisième point, quels peut être l'impact d'un changement des modes d'usage des zones humides de fond de vallée (passage d'un usage agricole à un usage ludique) à la fois sur les paysages agricoles bocagers et sur les transferts de flux ?

7.3.2.2. Sur le plan réglementaire

La Directive Cadre Européenne sur l'eau et la mise en place du SAGE du Blavet interrogent à la fois sur les moyens d'actions des gestionnaires de l'eau et sur le poids des nouvelles contraintes environnementales qui risquent d'engendrer une hausse de la valeur du foncier (stations de traitement des déjections, mises aux normes des exploitations, etc.). En conséquence, la reprise des exploitations peut-elle être encore assurée à l'avenir ? La nouvelle réforme de la PAC prévue pour 2006, notamment les nouveaux modes de financements, est une question primordiale. Le devenir des modes d'occupation des sols sur les bassins versants en lien avec ces nouveaux modes de financements va-t-il avoir des répercussions potentiellement favorables ou à risque pour l'environnement ?

7.4. Conclusion partielle

La modélisation systémique entreprise dans ce chapitre a clairement mis en évidence le rôle fondamental des exploitations agricoles dans l'évolution d'un paysage agricole bocager. C'est notamment à travers un ensemble de processus qui se passent à l'échelle de l'exploitation (évolution des assolements, successions culturales, arasement ou création de haies, drainage ou abandon des zones humides, agrandissement du parcellaire, agrandissement des territoires d'exploitation) que celui-ci évolue suivant des rythmes et des ampleurs différenciées. Les enjeux prospectifs vis-à-vis de la ressource en eau à l'échelle locale portent essentiellement sur l'évolution de l'agriculture, aux multiples déclinaisons possibles à l'échelle locale, mais aussi sur les moyens d'actions des gestionnaires de l'eau dans un contexte environnemental contraignant.

Conclusion

L'élaboration du SAGE Blavet est un cadre d'application approprié pour la réalisation de scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale ou parcellaire. Il est particulièrement adéquat pour plusieurs raisons :

- l'élaboration du Schéma d'Aménagement de Gestion des Eaux du Blavet nécessite une vision à moyen et long terme pour répondre aux exigences de la Directive Cadre Européenne sur l'eau ;

- la diversité des paysages ruraux et des contextes agricoles est très importante. Trois zones se distinguent tant par leur contexte socio-économique que par leurs trajectoires d'évolution, ce qui nécessite des scénarios distincts sur chacune de ces zones ;

- les enjeux liés à la qualité de l'eau sont variables à l'échelle locale.

Trois sites d'études, les bassins versants du Lestolet (Côtés d'Armor), du Coët-Dan et du Stang Varric (Morbihan), représentatifs de cette diversité de situations ont été choisis pour construire des scénarios prospectifs à l'échelle locale. La détermination des trajectoires d'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols et des structures paysagères a montré des tendances similaires sur les trois sites mais suivant des rythmes et des ampleurs différenciées. L'identification et la hiérarchisation des facteurs explicatifs des changements observés ont mis en exergue, à travers une analyse systémique, l'ensemble des interrelations qui influent sur ces changements mais aussi l'ensemble des processus qui les régissent.

L'exploitation agricole est le niveau d'organisation clef qui intervient dans l'évolution des paysages agricoles bocagers. L'exploitant, par ses activités de production, d'entretien et d'aménagement de son territoire, constitue le premier facteur explicatif des changements observés dans un paysage agraire (Thenail, 1997), et l'agrégation des exploitations agricoles explique l'évolution du paysage agricole. L'évolution du contexte agricole (évolution des marchés, réformes des politiques agricoles et environnementales, pressions foncières locales, etc.) contraint l'exploitant à adapter ses activités à son territoire.

La question essentielle porte donc sur l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols à moyen et long terme. Quels types de changements peuvent intervenir ? Où et quand vont-ils pouvoir se produire ? Suivant quelles proportions ? Toutes ces questions intéressent particulièrement les gestionnaires de l'eau au regard des impacts potentiels que les changements futurs auront sur les ressources en eau. La considération de changements éventuels, considérés aujourd'hui comme improbables, et la détermination de l'influence de certains facteurs de changements futurs, tels que la réforme de la PAC de 2006 et l'agrandissement tendanciel des exploitations agricoles, constituent une démarche prospective destinée à anticiper des situations à risque et/ou à identifier des moyens de gestion durable des ressources en eau.

L'ensemble des constituants du système « paysage agricole bocager » ayant été déterminés (dynamiques, processus de changements, problématiques futures), il est désormais possible de passer à l'étape de la construction des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale. L'objectif de la construction de ces scénarios est de produire des connaissances sur les changements des modes d'occupations et d'utilisation des sols à moyen et long terme à l'échelle des sites d'études. Différents types de scénarios vont être mobilisés dans la troisième partie.

PARTIE 3

CONSTRUCTION DE SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES DE L'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES A L'ECHELLE LOCALE : METHODOLOGIE

Introduction

La construction et l'évaluation de scénarios prospectifs constituent des phases-clefs en prospective, l'ensemble des moyens nécessaires pour éclairer les futurs possibles d'un territoire étant mobilisé lors de ces phases méthodologiques.

Dans le cas présent, la construction de scénarios prospectifs spatialisés vise à créer un *corpus* de connaissances sur des évolutions vraisemblables et cohérentes des modes d'usages des terres à moyen et long terme. Cette somme de connaissances est destinée à orienter les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux dans leurs choix en matière de gestion de l'environnement. Elle peut être optimisée en testant des hypothèses variées, contrastées et complémentaires, en faisant appel à divers types de scénarios. Elle comprend deux étapes : il s'agit tout d'abord de définir le type de scénario le plus adapté aux différentes hypothèses à tester et ensuite de faire appel à des méthodes de spatialisation adéquates. Deux démarches sont privilégiées selon les enjeux prospectifs identifiés ou les objectifs poursuivis : une démarche exploratoire *(forecasting)* et une démarche normative *(backcasting*), qui impliquent des méthodes de spatialisation différentes.

L'évaluation des scénarios repose sur quatre points : (1) s'assurer de la vraisemblance et de la cohérence des hypothèses de construction des scénarios et des résultats produits par les méthodes de spatialisation ; (2) mesurer l'influence de certaines hypothèses – ou facteurs de changements – sur l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols à l'aide de descripteurs explicites pour représenter les évolutions observées à l'échelle locale ou parcellaire ; (3) évaluer l'impact de ces changements sur le plan environnemental à travers l'utilisation de descripteurs et de modèles ; (4) mettre en évidence l'apport des scénarios pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux.

Les objectifs de cette troisième partie, dédiée aux méthodes de construction, de spatialisation et d'évaluation des scénarios prospectifs, sont de définir le plus clairement possible : la stratégie globale de construction des scénarios prospectifs adoptée dans le but de générer des connaissances en lien avec les enjeux prospectifs identifiés ; Les méthodes utilisées pour d'une part, mesurer les évolutions possibles des paysages agricoles et évaluer leurs impacts potentiels sur l'environnement, et d'autre part, apprécier l'apport des scénarios prospectifs pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux ; Les méthodes adoptées pour spatialiser les scénarios prospectifs.

La pertinence d'une stratégie de construction de scénarios prospectifs tient au choix des scénarios à réaliser et aux méthodes utilisées pour les construire. Dans notre cas, les scénarios doivent permettre une lecture claire des impacts potentiels des facteurs de changements identifiés, en l'occurrence la réforme de la PAC 2006, l'agrandissement des exploitations agricoles, les modifications de la structure foncière, sur les ressources en eau. Elle doit également se mesurer à l'aune des connaissances que les scénarios apportent aux gestionnaires de l'eau et acteurs locaux.

Le premier chapitre de cette troisième partie, le chapitre 8, présente les hypothèses de construction des scénarios prospectifs exploratoires et normatifs, ainsi que les deux approches utilisées pour évaluer l'apport de ces scénarios : quantitative *via* l'utilisation de descripteurs et de modèles environnementaux destinés à mettre en évidence d'une part les changements futurs des modes d'usages des terres et d'autre part les impacts de ces changements sur le plan

environnemental ; qualitative à travers la restitution des résultats à des acteurs locaux et des gestionnaires pour évaluer l'apport des scénarios retenus pour ceux-ci.

Le second et dernier chapitre de cette partie, le chapitre 9, expose les méthodes utilisées pour spatialiser les scénarios. Elles dépendent du type de scénario considéré, scénario de type *forecasting* ou *backcasting*.

CHAPITRE 8 - Les scénarios prospectifs : enjeux, hypothèses de construction et évaluations

Pour reprendre les propos d'Hatem (1993), la prospective « est un regard sur l'avenir destiné à éclairer l'action présente ». Cet éclairage est produit par les connaissances nouvelles qu'apportent les scénarios prospectifs.

Dans le cas présent, ces connaissances comprennent : (1) des connaissances sur les impacts de facteurs de changements sur l'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols et des structures paysagères ; (2) des connaissances sur les enjeux de gestion de l'eau suivant des configurations futures vraisemblables d'un bassin versant. En outre, de nouveaux enjeux de gestion peuvent émerger à partir des connaissances apportées par l'étude des impacts de facteurs de changements tendanciels (ex : agrandissement des exploitations, réforme de la PAC 2006) ou hypothétiques (ex : crise pétrolière) sur l'évolution des paysages agricoles. S'il est important d'identifier l'influence respective de chacune de ces hypothèses, il semble tout aussi important de tester l'influence de plusieurs hypothèses interagissant entre elles. En effet, si deux hypothèses engendrent des changements similaires, leurs interactions peuvent induire des effets qui s'inversent, s'annihilent, se cumulent voire catalysent l'évolution des modes d'occupation des sols et les structures paysagères.

Le choix des scénarios constitue une étape importante dans un exercice de prospective. Il est effectué en fonction du type d'enjeux à éclairer, mais aussi des hypothèses d'évolution retenues. Après avoir précisé les enjeux des scénarios envisagés dans le cadre de cette étude, ce chapitre vise à présenter (1) les hypothèses d'évolution retenues et la manière dont elles sont prises en compte dans les différents scénarios prospectifs envisagés, (2) les indicateurs permettant d'évaluer et de comparer les scénarios et (3) la démarche employée pour évaluer l'apport des scénarios pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux.

8.1. Les enjeux des scénarios prospectifs spatialisés

L'identification et l'évaluation des impacts potentiels de certains facteurs de changements sur les usages des terres et les structures paysagères constituent le premier enjeu de l'élaboration des scénarios prospectifs. Un autre enjeu, est la production de situations vraisemblables très contrastées de façon à (1) rendre compte des moyens à mobiliser pour éviter ou atteindre l'une ou l'autre de ces situations et (2) de témoigner de l'efficacité relative de ces actions.

8.1.1. Définir et évaluer l'impact d'un facteur de changement

L'objectif principal de l'élaboration des scénarios prospectifs est la constitution d'une « bibliothèque » de connaissances sur les changements possibles d'un paysage agricole bocager sous différentes hypothèses d'évolution. Les changements produits sont issus des différents facteurs de changements identifiés préalablement lors de la constitution de la base des scénarios, mais aussi de leurs interactions. C'est à partir des connaissances sur les

changements potentiels du paysage agricole déterminées à partir des scénarios que les impacts de ces changements peuvent être identifiés, localisés et quantifiés, permettant de définir des actions concrètes sur le terrain.

Chaque scénario prospectif -et donc chaque hypothèse testée- fournit des connaissances valides dans une configuration donnée, c'est-à-dire pour le territoire considéré. Cependant, si les connaissances apportées sur d'autres sites caractérisés par un paysage agricole bocager sont concordantes avec ces connaissances, alors il est possible d'envisager la généralisation du ou des impacts d'un facteur de changement sur ces sites. A titre d'exemple, suite à la réforme de la PAC de 1992, l'augmentation de la part des cultures dans la SAU a été générale sur les trois sites d'étude, quel que soit le site d'étude, en dépit du fait que cette augmentation ait présenté une ampleur différente suivant les sites, en raison des interactions produites avec d'autres facteurs de changement propres au contexte local. La réalisation, à cette époque, de scénarios prospectifs aurait permis de déterminer l'influence générale de la réforme de la PAC de 1992, mais aussi peut-être de mettre en évidence les ampleurs différenciées qu'elle a induites localement.

8.1.2. Tenter de « délimiter » la gamme des futurs possibles

Le second enjeu des scénarios prospectifs spatialisés consiste à envisager des situations très différentes et plausibles. Ainsi, les images futures doivent être en concordance avec les tendances passées et actuelles, mais aussi figurer des situations qui sortent de l'ordinaire, qui peuvent sembler improbables, voire impossibles pour les acteurs concernés.

La construction de scénarios contrastés ou « extrêmes » donne l'opportunité de savoir « jusqu'où il sera nécessaire d'aller », en matière de gestion de l'eau et d'aménagements par exemple, dans le cas où cette situation se produirait.

L'objectif visé étant de produire un corpus de connaissances le plus riche possible en matière de gestion de l'eau, issues des évolutions possibles des modes d'occupation des sols et des structures paysagères, la stratégie adoptée a pour but de répondre à deux enjeux : (1) comprendre les impacts des facteurs de changements à venir et (2) identifier les moyens d'actions à mettre en place dans des situations très contrastées.

En raison de la façon dont le temps est pris en compte, répondre à cet objectif nécessite de s'appuyer sur deux types de scénarios : des scénarios exploratoires et des scénarios normatifs.

8.2. Les scénarios prospectifs exploratoires / normatifs : hypothèses de construction

Les hypothèses de construction ont été définies de façon participative avec des experts, des gestionnaires de l'eau et des acteurs locaux lors d'une réunion qui s'est déroulée à Rennes le 7/02/2005 (annexe 11).

8.2.1. Les hypothèses retenues pour la construction des scénarios prospectifs exploratoires

8.2.1.1. L'horizon temporel 2020

Etant donné que l'évolution des paysages agricoles bocagers est fortement dépendante de la PAC, l'horizon temporel des scénarios exploratoires aurait dû se limiter à 2013-2014[21]. Cet horizon est toutefois trop limité, trop court pour témoigner de réels changements. En conséquence, nous émettons l'hypothèse que la réforme de la PAC serait prolongée jusqu'en 2020, car d'une part la période 2006-2020 présente une durée d'application similaire à la réforme de la PAC de 1992 (1992-2006) et d'autre part l'Union Européenne ne devrait pas remettre totalement en cause ce système d'aides, qui a nécessité cinq années d'élaboration.

8.2.1.2. Hypothèses de l'influence de la réforme de la PAC 2006 sur les modes d'occupation des sols

La relation entre la nouvelle réforme de la PAC et les modes d'occupation et d'utilisation des sols n'est pas aisée à appréhender. Cette question a fait l'objet d'un mémoire de Master 2 (Geslot, 2005) sur lequel s'appuie largement l'analyse suivante.

8.2.1.2.1. La réforme de la PAC

La réforme Agenda 2000 votée en 1999 à Berlin, puis les accords du Luxembourg en 2003 fondent la nouvelle PAC sur deux « piliers ». Le premier s'inscrit dans la continuité de la PAC de 1992 : il concerne les aides aux productions et l'organisation du marché. Le second donne aux Etats membres de nouveaux moyens en faveur du développement rural, de l'environnement, de la qualité, … (Perraud, 2005).

Globalement, les mesures du premier pilier ne constituent que le prolongement de la réforme précédente, prévoyant toutefois une baisse progressive des prix de soutien afin de s'adapter aux marchés internationaux. Le versement de ces aides dépend du respect de normes réglementaires, environnementales et sanitaires : c'est le principe d'« éco-conditionnalité »[22]. Le second pilier « Environnement et développement rural » marque un profond changement de vision de l'agriculture en lui accordant une notion de multifonctionnalités visant le renouvellement des ressources naturelles, l'entretien de l'environnement dans le milieu rural pour la sauvegarde des paysages, l'occupation du territoire et le maintien de la biodiversité.

Cette révision bouleverse une fois de plus le système d'aide à l'agriculture européenne en apportant de nouveaux changements, dont le découplage des aides à la production. Cette aide découplée est indépendante des facteurs et du type de production, du volume produit et des prix du marché. Dans le cas du découplage total, il n'y a aucune obligation de produire, les aides étant définies à partir des productions réalisées en moyenne sur trois années de référence, de 2000 à 2002. La mise en application de cette réforme est prévue pour 2006 et jusqu'en 2013-2014.

[21] Cela correspond aux dates limites d'application de la réforme de la PAC 2006.

[22] Trois domaines d'exigences définissent le principe d'éco-conditionnalité : le respect des 19 directives et règlements existants, les « Bonnes Conditions Agricoles et Environnementales » et le maintien des prairies permanentes (Geslot, 2005)

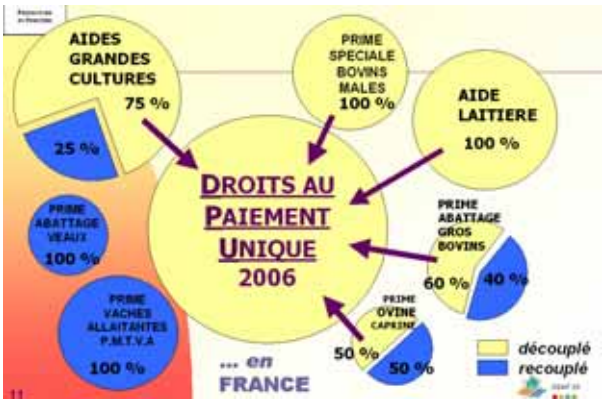


Figure 93. Schéma récapitulatif du système d'aides issues de la réforme de la PAC 2006 (source : document d'information Préfecture du Finistère, *in* Geslot, 2005)

En France, le couplage partiel a été choisi pour certaines productions. Il devrait permettre de maintenir l'activité agricole dans les zones fragiles (figure 93). Il maintient cependant une vision sectorielle et complexe du système d'aide aux exploitants agricoles français. Chaque aide est prise individuellement pour évaluer des Droits au Paiement Unique. Ces droits seront évalués chaque année pour la partie recouplée de l'aide en fonction du taux de production de chaque exploitation.

8.2.1.2.2. Les stratégies contrastées d'adaptation des exploitants et les incidences sur les modes d'occupation et d'utilisation des sols

Les stratégies d'adaptation des exploitations du Grand Ouest à la PAC 2006 et leurs impacts sur les types d'occupation des sols, le bocage et les zones humides, ont été définies lors d'une réunion participative regroupant des experts en agronomie, en prospective, en écologie du paysage, et des gestionnaires de l'eau et de l'espace agricole (annexe 11). Ces stratégies ont ensuite été confortées à l'aide d'enquêtes terrains dispersées sur les quatre départements bretons (167 exploitants interrogés) et par des experts de l'ONIC, organisme chargé du contrôle des déclarations PAC.

Pour une exploitation, trois stratégies sont envisageables :

- Dans le premier cas, la PAC incite à l'extension des systèmes herbagers, ce qui est synonyme d'une future désintensification de la production agricole. Le découplage total des aides permettrait alors aux exploitants de percevoir la même somme à l'hectare, à + ou – 25 %, quels que soient les couverts implantés. Par exemple, dans le cas d'élevages laitiers et/ou allaitant, l'exploitant ayant beaucoup de terres pourrait faire le choix de baisser ses coûts de production par l'implantation d'herbages, *via* une gestion plus extensive. Dans le cas où l'exploitant est relativement proche de la retraite, n'a ni emprunt à rembourser ni repreneur, il pourrait tirer un revenu convenable de son activité et réduire considérablement sa charge de travail en implantant des prairies pour lesquelles les primes n'exigent qu'un entretien minimal, une fauche annuelle ou semestrielle.

- Dans le second cas, la PAC favorise l'implantation de céréales, ce qui se traduit par une intensification de la production. Dans le cas d'élevages laitiers, les exploitants ayant peu de terres pourraient faire baisser le coût de leur production en augmentant la production laitière par vache. Ils devraient alors réduire légèrement leur cheptel augmentant ainsi la part de maïs fourrager par vache, les surfaces en blé et autres céréales pouvant quant à elles légèrement augmenter afin d'assurer le versement de 100% des aides « grandes cultures ». Dans le cas d'exploitations n'ayant plus d'emprunts à rembourser et devant mettre leurs

bâtiments d'élevages aux normes, les élevages pourraient disparaître, des céréales pouvant être implantées sur l'ensemble des terres labourables. Leur revenu proviendrait alors des marges réalisées sur les céréales à forte valeur ajoutée (blé, colza, chanvre, lin,…) ou d'autres cultures (légumes industriels, etc.).

- Une troisième stratégie peut aussi être envisagée : l'exploitant considère que la différence de revenu issue des nouvelles modalités de financement est trop faible pour engendrer une modification de son système de production.

Le choix de telle ou telle autre stratégie dépend de la structure de l'exploitation et de l'exploitant. Ainsi, l'influence de la PAC 2006 sur les modes d'occupation des sols peut varier d'un exploitant à l'autre, selon des stratégies contrastées présentées ci-après.

8.2.1.2.3. Les évolutions contrastées des assolements liés à la PAC 2006

Les stratégies d'adaptation *op. cit.* peuvent se traduire par une modification des assolements pour chacun des systèmes de production. Dans le cas de la première stratégie, appelée « Option herbe », la totalité des céréales et oléo-protéagineux est convertie en surfaces en herbe. La proportion de maïs reste inchangée, car elle est essentielle aux besoins en fourrages pour l'alimentation des cheptels. Dans la seconde stratégie, appelée « Option céréales », la proportion de céréales et oléo-protéagineux augmente légèrement (+5%), au détriment des surfaces en herbe, afin d'assurer la production des rendements nécessaires pour toucher 100% des aides aux grandes cultures. Dans le cas de la troisième stratégie, les assolements restent inchangés (cf. tableau 17 p. 185).

L'évolution des assolements est présentée dans le tableau suivant (tableau 18).

	Systèmes de production	**Assolement "Option Herbe"**			**Assolement "Option Céréales"**		
		P	*M*	*C-OP*	*P*	*M*	*C-OP*
1	**Bovin lait et/ou viande**	80 %	20 %	0 %	60 %	20 %	20 %
2	**Mixte lait + volaille**	70 %	30 %	0 %	50 %	30 %	20 %
3	**Mixte lait + porc**	85 %	15 %	0 %	65 %	15 %	20 %
4	**Porcin « option cultures »**	90 %	10%	0%	10%	10%	80%
5	**Volaille**	45 %	55 %	0 %	30%	55 %	15 %
6	**Bovin extensif / bio**	95 %	5 %	0 %	90 %	5 %	5 %
7	**Porc « Opt° Cult » + Lait**	95 %	5 %	0 %	25 %	5 %	70 %
8	**Equin**	100 %	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %
9	**Mixte Lait + Lapin**	70 %	30 %	0 %	55 %	30 %	15 %
10	**Cultures Industrielles**	15 %	25 %	60 %	10 %	25 %	65 %
11	**Mixte Volaille + lait**	70 %	30 %	0 %	25 %	30 %	45 %
12	**Porcin « option FAF »**	5 %	45 %	50 %	5 %	45 %	50 %
13	**Porc « Opt° FAF » + Lait**	30 %	30 %	40 %	25 %	30 %	45 %

P : prairies (temporaires + permanentes) ; M : maïs (ensilage + fourrage) ;
C-OP : céréales (blé, orge, avoine...) / oléo-protéagineux (colza...)

Commentaires :
Les productions granivores (porc, volaille, lapin) sont des productions réalisées dans des ateliers hors-sol.
Porcin « Option culture » : la production granivore est la production principale et les aliments sont achetés à l'aide des cultures de ventes.
Porcin « FAF » : Fabrication d'Aliments à la Ferme issue des productions végétales.

Tableau 18. Evolution des assolements en fonction des stratégies contrastées d'adaptation des exploitants à la réforme de la PAC 2006

La comparaison entre ce tableau et le tableau 17 (p. 185) montre que l'assolement de certains systèmes ne va probablement que très peu évoluer (par exemple, le système Porc « FAF » + Lait) en raison des besoins en cultures pour l'alimentation des cheptels.

8.2.1.3. Hypothèses sur l'agrandissement des exploitations agricoles

Afin de mettre en évidence l'impact de l'agrandissement des exploitations sur les modes d'usage des sols, nous avons volontairement fait le choix de simplifier les modes d'agrandissement : Les exploitations peuvent ainsi être soit reprises en totalité par un jeune agriculteur (reprise par le « fils »), soit reprise en totalité par une exploitation voisine choisie aléatoirement ou suivant d'autres critères (dimension économique, bâtiments déjà mis aux normes, âge du repreneur…).

Pour évaluer l'influence de l'évolution des exploitations agricoles sur les changements d'occupation des sols et des structures paysagères, il est nécessaire de posséder des données très précises sur les exploitations agricoles telles que l'âge de l'exploitant. Seul le bassin versant du Lestolet présente ces données de façon précise et exhaustive. Par conséquent, les scénarios ont été exclusivement réalisés sur ce site d'étude.

D'après certaines projections (Institut de l'élevage, 2004) et les données existantes sur les exploitations agricoles du Lestolet en 1998 et 2005 (âge des exploitants, SAU, mise aux normes…), il a été estimé que 17 exploitations sur les 31 existantes en 1998 cesseront leur activité d'ici 2020. Sur ces 17 cessations, 6 exploitations sont reprises par un jeune et les11 autres par des exploitations voisines.

Les reprises d'exploitations vont dans le sens d'une accentuation de la spécialisation dans la production laitière de la région du Haut-Blavet (tableau 19), conformément aux tendances agricoles régionales. Au final, le paysage des exploitations agricoles se caractérise par une taille moyenne comprise entre 80 et 100 ha, avec des écarts entre de « petites exploitations » (env. 60 ha) et de « grandes exploitations » (env. 120 ha).

Système de production	1998 (31 exploitations)	2020 (19 exploitations)
Syst. "Bovin lait/viande"	17 expl. (50% SAU du BV)	11 expl. (58% SAU du BV)
Syst. Mixte "Bovin + Volaille"	8 expl. (27%)	4 expl. (20%)
Syst. Mixte "Bovin + Porc"	2 expl. (6%)	2 expl. (11%)
Syst. Hors-sol "Porc"	1 expl. (3%)	1 expl. (3%)
Syst. Hors-sol "Volaille"	1 expl. (2%)	-
Syst. "Bovin Extensif / bio"	2 expl. (10%)	1 expl. (6%)
Pour 2% de la SAU, les exploitants n'ont pas pu être identifiés et par conséquent les systèmes de production		
Taille moyenne des exploitations	1998	2020
Données SIG	40-60 ha	80-100 ha
Sources : ONIC 2000 Institut de l'élevage, 2004	51 ha	+15-20 ha en moyenne en BZH jusqu'en 2012

Tableau 19. Evolution du paysage des exploitations agricoles d'après l'agrandissement estimé : une accentuation de la spécialisation laitière de la région du Haut-Blavet conforme aux projections

La figure 94 présente le paysage des exploitations agricoles en 1998 (carte en haut à gauche) et l'évolution des reprises au cours de la période 1998-2020. Ainsi, par exemple, l'exploitation 25 est reprise entièrement en 2007 par l'exploitation 15. Ce territoire agricole, anciennement caractérisé par un système de production « Lait intensif + volaille », devient de

type « Lait intensif + Porc ». Cet agrandissement témoigne notamment de l'intensification de la production laitière (reprise de quotas) et potentiellement de la production porcine (reconversion des bâtiments hors-sol). La même année, l'exploitation 30 est reprise « par le fils », signifiant l'installation d'un jeune.

La figure 94 (carte en haut à droite) illustre la répartition spatiale des exploitations en 2020. La carte en bas à droite retranscrit cette situation sur le plan des systèmes de production. La part du bassin versant et le nombre d'exploitations pour chacun des systèmes de production sont synthétisés dans le tableau 19.

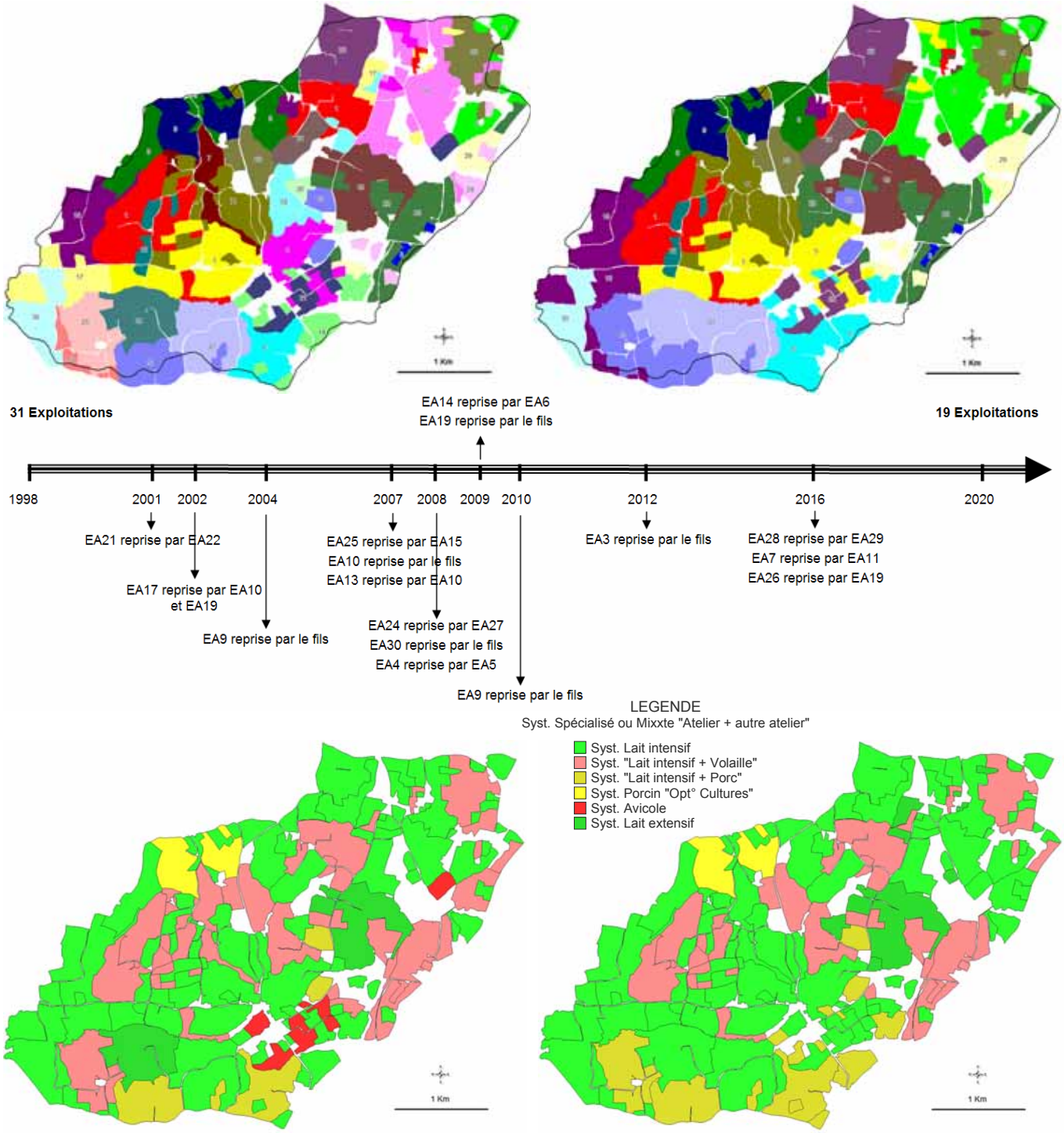


Figure 94. Agrandissement estimé des exploitations agricoles sur le bassin versant du Lestolet entre 1998 et 2020

8.2.1.4. Hypothèses sur les changements de la structure du parcellaire et des structures paysagères

Aux vues des contraintes réglementaires existantes, la taille du parcellaire, le bocage et les zones humides devraient évoluer de la façon suivante :

Les zones humides de fonds de vallées ont, pour la plupart, atteint leur taille minimale. Le drainage des parcelles humides étant désormais interdit, leur régression spatiale est considérée comme interrompue. Toutefois, des opérations d'aménagement tels que les remembrements « eau »[23] instaurés de façon volontariste par des gestionnaires de l'eau pourraient engendrer une extension spatiale des zones humides, notamment dans les communes ayant fait l'objet par le passé d'opérations de remembrement de type « table rase ». D'une façon générale, les zones humides devraient continuer à se fermer.

L'agrandissement du parcellaire est une tendance lourde qui s'explique par la recherche d'une simplification du travail (matériels agricoles plus gros/lourds, minimisation des temps de gestion…). Il devrait concerner majoritairement les parcelles de petite ou moyenne taille les plus éloignées du siège d'exploitation. Les parcelles destinées aux pâturages, situées surtout à proximité relative du siège d'exploitation (surtout dans le cas d'élevages laitiers), de petite ou moyenne taille, entourées de haies (protection naturelle pour le cheptel) et/ou parfois humides, sont peu concernées. L'agrandissement du parcellaire engendre une lente ouverture des paysages traduite par un arasement ponctuel de haies. Ainsi, nous considérerons que pour les communes n'ayant pas été remembrées, la tendance observée sur les 20 dernières années devrait se poursuivre, mais de façon plus modérée.

Les haies de ceinture bénéficient désormais d'une attention particulière de la part des gestionnaires de l'eau et des acteurs locaux, leur rôle sur l'environnement ayant été clairement identifié. Ainsi, la restauration des haies de ceinture constitue une des actions fréquemment envisagées et/ou réalisées dans des programmes de reconquête de la qualité de l'eau tel que Bretagne Eau Pure.

L'évolution du bocage et des modes d'occupation des sols au sein des zones humides est en contradiction avec le principe d'éco-conditionnalité de la PAC 2006. Toutefois, les témoignages des exploitants laissent à penser que certains peuvent préférer retirer les parcelles humides du DPU. Il s'agirait selon eux « d'une opération plus rentable que de les entretenir, d'autant plus que les critères de contrôle de « niveau d'entretien » des zones humides ne sont pas clairement définis. Les pénalités sont potentiellement plus fortes que la perte occasionnée en retirant ces parcelles du DPU. Les pertes engendrées peuvent être légèrement compensées par l'augmentation des rendements liée à l'arasement de quelques haies.

8.2.2. Les hypothèses retenues pour la construction des scénarios prospectifs normatifs

Des *images* contrastées du futur ont été déterminées pour chacune des composantes du paysage (modes d'occupation des sols, bocage, zones humides) lors de la réunion participative évoquée précédemment.

[23] Un remembrement « Eau » est une proposition faite dans le cadre de l'étude prospective réalisée par le bureau d'étude AScA pour le compte du SAGE Blavet. Il s'agit d'un aménagement foncier ayant pour finalité une meilleure gestion de l'eau. Il consiste à optimiser l'allocation spatiale des cultures, à restaurer ou élargir les zones humides de fond de vallées, à restaurer ou replanter des haies de ceinture, à réhabiliter les méandres de petits cours d'eau… c'est-à-dire à redessiner les espaces aquatiques et humides des zones ripariennes.

La construction de scénarios de type *backcasting* a été effectuée exclusivement sur le bassin versant du Lestolet, en raison de la forte mobilisation des acteurs locaux sur ce site et surtout de la disponibilité des données.

8.2.2.1. L'horizon temporel 2027

Dans le cas des scénarios normatifs, l'objectif est d'identifier les « marges de manœuvre » pour la gestion intégrée de l'eau à partir d'images très contrastées de chacune des composantes du paysage et dont les impacts sur les ressources en eau sont évalués. L'année 2027 a été proposée comme date finale pour cet exercice prospectif. Elle correspond à la date de la mise en application la plus tardive possible de la Directive Cadre sur l'Eau.

Bien que l'on puisse regretter la discordance des horizons temporels entre les deux types de scénarios -exploratoires et normatifs-, la production d'images spatialisées et l'utilisation d'indicateurs permettra de les comparer sur le plan quantitatif et spatial.

8.2.2.2. Les hypothèses contrastées des zones humides de fonds de vallées

Trois hypothèses contrastées ont été envisagées :

- ZH1 : « La gestion des zones humides par de nouveaux acteurs »
- ZH2 : « La fermeture quasi-totale des zones humides »
- ZH3 : « La reconquête maximale des zones humides »

L'hypothèse ZH1 illustre un découplage total entre les parcelles situées sur la partie non hydromorphe du bassin versant et les parcelles situées en zones humides de fonds de vallées. Ce découplage peut s'expliquer par l'agrandissement croissant des exploitations : l'agrandissement des exploitations ne permet plus de dégager le temps nécessaire à la gestion de l'ensemble des parcelles humides, qui sont alors abandonnées. De nouveaux acteurs (particuliers, associations, collectivités locales…) se portent acquéreurs et en gèrent désormais une partie. Ainsi, l'image finale présente des fonds de vallées fermés en partie seulement. Un tiers des zones humides sont encore utilisées par des exploitants agricoles, un autre tiers a été abandonné, et le dernier tiers bénéficie des aménagements de nouveaux gestionnaires. Ces aménagements se traduisent par le maintien de quelques prairies et le défrichement dans des zones linéaires relativement étroites et peu encaissées, par la création spontanée de petits plans d'eau (inférieurs à 1000 m²) et par la plantation de bois (peupleraies).

L'hypothèse ZH2 propose une vision opposée, sans nouveaux gestionnaires. Nous estimons alors que 90% des zones humides sont fermées, les zones humides encore utilisées -10% environ- correspondant aux parcelles situées à proximité des sièges d'exploitations ayant une production orientée vers l'élevage bovin.

L'hypothèse ZH3 présente une extension maximale des zones humides, suivant les préconisations du SAGE Blavet : inscription des zones humides dans les PLU, conservation de l'intégrité des zones humides. Cette gestion des zones humides est rendue possible par les opportunités financières offertes par le programme BEP, le SAGE, et la nouvelle Loi Rurale (défiscalisation à 50% des parcelles situées en zones humides). Ainsi, les parcelles humides depuis une cinquantaine d'années redeviennent humides par le biais de petits aménagements hydrauliques, et des prairies permanentes y sont implantées.

8.2.2.3. Les hypothèses contrastées du bocage

Trois hypothèses ont été retenues :

- B1 : « Des plateaux ouverts et la sauvegarde des haies de ceinture »
- B2 : « Des plateaux ouverts et l'aménagement localisé d'un bocage fonctionnel »
- B3 : « La poursuite de l'évolution observée (1981-1998) et l'aménagement d'un bocage fonctionnel optimal »

L'hypothèse B1 représente le cas d'une situation extrême, avec le maintien d'un bocage résiduel localisé en bordure de zones humides de fonds de vallées et où aucun aménagement n'étant réalisé. Bien que ce scénario soit légèrement incohérent avec les objectifs du SAGE et du SMKU, il permet de rendre compte d'une situation minimale. La situation de l'année 1998, similaire à celle de 2003, fait office de référence (étude AQUATERRA[24]).

L'hypothèse B2 représente la même situation extrême mais intègre les aménagements préconisés dans une étude faite par le bureau d'études AQUATERRA, c'est-à-dire l'implantation de quelques haies de ceinture. Cette situation est envisagée de façon à mettre en exergue la plus-value apportée par les haies de ceinture vis-à-vis de la qualité de l'eau.

L'hypothèse B3 est représentatif de l'évolution tendancielle observée depuis plusieurs années (baisse de la densité des haies boisées sur les versants, implantation ponctuelle de haies à proximité des routes et des sièges d'exploitation) et des actions entreprises par les gestionnaires locaux (implantations stratégiques autour des parcelles humides de haies de ceinture). L'image finale figure une situation *a priori* optimale, favorisant les transferts de flux.

8.2.2.4. Les hypothèses contrastées des modes d'occupation et d'utilisation des sols

Le principal facteur explicatif de changements à venir des modes d'occupation des sols concerne la réforme de la PAC en 2006. Trois hypothèses contrastées ont été retenues :

- OS1 : « Une PAC favorisant l'herbe »
- OS2 : « Une PAC favorisant les céréales »
- OS3 : « Un découplage total entre agriculture et occupation des sols »

Les hypothèses OS1 et OS2 sont en totale opposition. La première prévoit que l'ensemble du Lestolet sera couvert en herbe en 2027. Suivant ce principe, le scénario OS2 prévoit une généralisation des céréales (blé, maïs) sur le bassin versant.

Le scénario OS3, prend un virage à 180 degrés en considérant un découplage total entre l'utilisation du sol et l'agriculture. Partant du principe que la PAC permet des retombées économiques sans que les terres servent directement à la production agricole (cultures, pâtures, etc.), elles pourraient devenir une source de revenus supplémentaires dès lors que les parcelles sont fauchées au moins une fois par an. Toutes les parcelles du Lestolet deviennent dans ce cas en herbe, assimilable à une jachère en terme d'usage agricole.

[24] Le bureau d'étude AQUATERRA a réalisé un état des lieux de la structure bocagère du bassin versant du Haut-Blavet pour le compte du Syndicat Mixte de Kerné Uhel.

8.2.2.5. Le croisement des hypothèses contrastées

La construction de scénarios normatifs nécessite d'intégrer une hypothèse pour chaque composante du paysage (occupation du sol, bocage, zone humide). En théorie, il y a 27 combinaisons possibles de scénarios normatifs en combinant les hypothèses retenues pour les trois sites d'étude. Toutefois, dans la pratique, nous nous sommes contentés de réaliser trois scénarios en veillant à ce qu'une fois testée, une hypothèse ne puisse être réutilisée dans un autre scénario. Nous avons procédé de façon intuitive en envisageant les scénarios les plus contrastés possibles, et en étendant au maximum la gamme des futurs possibles des territoires étudiés. En outre, chacun des scénarios intègre les hypothèses utilisées dans les scénarios exploratoires (agrandissement des exploitations, de la structure foncière) et les connaissances qu'ils produisent. Au final, les scénarios normatifs ont été élaborés à l'aide d'une matrice (tableau 20), en veillant à ce que les hypothèses soient cohérentes les unes par rapport aux autres. Pour des raisons de disponibilités de données, mais aussi en raison de la forte mobilisation des gestionnaires de l'eau et des acteurs locaux du bassin versant du Lestolet lors des réunions participatives, les scénarios normatifs ne seront construits que sur ce site.

	Hyp 1	Hyp 2	Hyp 3	Signification
Bocage	**B1**	**B2**	**B3**	**B1** :« Des plateaux ouverts et la sauvegarde des haies de ceinture » **B2** : « Des plateaux ouverts et aménagement localisé d'un bocage fonctionnel » **B3** : « Poursuite de l'évolution observée et aménagements d'un bocage fonctionnel optimal »
Zone humide	**ZH1**	**ZH2**	**ZH3**	**ZH1** : « La gestion des zones humides par de nouveaux acteurs » **ZH2** : « La fermeture quasi-totale des zones humides » **ZH3** : « La reconquête maximale des zones humides »
Occupation du sol	**OS1**	**OS2**	**OS3**	**OS1** : « Une PAC favorisant l'herbe » **OS2** : « Une PAC favorisant les céréales » **OS3** : « Découplage total entre agriculture et utilisation du sol : le "tout herbe" »
Scénario	**Sc A**	**Sc B**	**Sc C**	**Sc A** : « Gestion fonctionnelle et durable du Lestolet par les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau » (B3+ZH3+OS1) **Sc B** : « De l'intensification de l'agriculture et de la gestion minimale des zones humides de fonds de vallées » (B1+ZH2+OS2) **Sc C** : « Le Lestolet un espace privatisé à vocation non-agricole » (B2+ZH1+OS3)

Tableau 20. Matrice de construction des scénarios normatifs

8.3. Des descripteurs d'évaluation des scénarios prospectifs

Un certain nombre de descripteurs peuvent être aisément disponibles pour étudier l'évolution d'un paysage agricole bocager. Leur nombre est plus limité en revanche pour évaluer l'impact de son évolution sur l'environnement. Il s'agit dans ce cas de descripteurs de risque. L'ensemble de ces descripteurs utilisables suivant le type et l'objectif du scénario sont présentés ci-après succinctement.

8.3.1. Les descripteurs des changements d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères

Les descripteurs retenus pour témoigner de l'organisation spatiale et de l'évolution d'un paysage agricole sont :

- les proportions des types d'occupation et d'utilisation des sols à l'échelle du bassin versant ;
- la densité bocagère ;
- les proportions des types d'occupation des sols au sein des zones humides ;
- la répartition de la surface agricole utile par classe de taille de parcelle.

Les évolutions sont restituées annuellement dans le cas des scénarios exploratoires et de façon diachronique dans le cas des scénarios normatifs.

8.3.2. Des descripteurs de risque mesurant l'impact potentiel d'un scénario

Les descripteurs de risque vis-à-vis de la ressource en eau sont élaborés soit à partir de descripteurs décrivant l'organisation du paysage, soit de modèles. Dans le cas de cette étude, trois modèles sont utilisés. Le premier permet d'évaluer le rôle tampon d'un paysage agricole bocager vis-à-vis des transferts de sub-surface de flux d'azote, le modèle « Landbuf » développé par l'INRA-Sad Armorique (Viaud, 2004). Les deux autres modèles utilisés simulent les transferts de flux de surface. Leur utilisation vise à évaluer les zones contributives (modèle Odissés - Bocher, 2005) et l'influence des changements des usages des terres sur les flux d'eau à l'exutoire (modèle Ruicells - Langlois et Delahaye, 2002). Nous exposerons succinctement les descripteurs et modèles employés et mis gracieusement à notre disposition par les auteurs sub-cités.

8.3.2.1. Les descripteurs de risque liés à la culture du maïs

Nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la culture du maïs qui occupe une place centrale dans le modèle de développement agricole breton. Le fait qu'elle ne soit pas sensible à une sur-fertilisation, dans un contexte général où les déséquilibres en azote organique produits par une exploitation croissent avec le niveau d'intensification des productions animales de cette exploitation, lui confère un statut de plante « à risque » vis-à-vis de la qualité de l'eau (AScA, 2000). De même, elle introduit obligatoirement des molécules chimiques de synthèse dans les sols et dans les eaux par les traitements phytosanitaires qu'elle nécessite. Enfin, les conditions climatiques ne permettent pas toujours d'implanter une interculture après un maïs ou d'en implanter une à temps. Les conséquences sur les transferts de flux de surface et de sub-surface sont alors potentiellement importantes

comparativement aux céréales d'hiver, peu couvrantes au sol entre décembre et février mais ayant un rôle de prélèvement et un degré de couverture des sols non négligeables dès mars[25].

« Plus que de traiter le maïs de plante "polluante", ce qui n'aurait guère de sens, … » (AScA, 2000) il faut la considérer « à risque » suivant les pratiques agricoles dont elle bénéficie.

8.3.2.1.1. Les surfaces cumulées en maïs par classe de distance au cours d'eau

La répartition des surfaces en maïs cumulées par rapport au réseau hydrographique par classes de distance, dérivé et adapté de Ruiz *et al.* (2004), donne une indication précieuse sur l'organisation du paysage. D'une part, cet indicateur permet de comparer des situations en fournissant une clef de lecture du degré de similitude d'organisations paysagères issues de scénarios différenciés. D'autre part, il décrit un niveau de risque résultant de chacune de ces configurations paysagères. Ainsi, un nombre important de parcelles de maïs à proximité du réseau hydrographique est une situation potentiellement à risque élevé (suivant les pratiques agricoles, les types de sols, la présence de haies et/ou de bandes enherbées, etc.…).

8.3.2.1.2. La fréquence de retour en maïs

Dans le cas d'un suivi annuel de l'évolution des types d'occupation des sols, c'est-à-dire dans le cas de scénarios exploratoires spatialisés, il est possible d'analyser la fréquence de retour en maïs sur les parcelles agricoles. Une fréquence de retour élevée peut engendrer (suivant les pratiques agricoles, les types de sols…) un transfert de nitrates vers les eaux de sub-surface plus important que dans le cas de fréquences de retour faibles. La comparaison des surfaces concernées par des fréquences de retour variées (1 année sur 3, 1 année sur 2, 2 années sur 3) permet de mettre en évidence la hausse ou la baisse du niveau de risque induit par différents scénarios.

8.3.2.2. L'utilisation de modèles distribués

Quelques modèles distribués offrent l'opportunité d'apporter des connaissances précises, quantifiées et spatialisées, sur l'impact de l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères sur les ressources en eau. Les modèles utilisés ont été retenus pour des raisons de pertinence, mais aussi de disponibilité, et de simplicité d'application.

8.3.2.2.1. L'évaluation du rôle tampon du paysage sur les flux de sub-surface : l'utilisation du modèle « Landbuf »

Landbuf (*Landscape buffer*) est un modèle d'analyse spatiale du risque de transfert de sub-surface des nitrates Viaud (2004). Il tient compte à la fois d'un risque polluant lié à un type d'occupation du sol et de l'influence du réseau bocager sur les prélèvements d'azote et/ou la dénitrification. Ce modèle repose sur l'hypothèse qu'en terme de sensibilité du cours d'eau par rapport aux flux émis, l'effet d'une haie ou d'une structure boisée est comparable à l'éloignement de la parcelle émettrice par rapport à ce cours d'eau. Il permet donc de représenter l'influence des structures spatiales (haies, parcelles) sur le risque de pollution par les nitrates dans un bassin versant. Le principe de fonctionnement de ce modèle est présenté dans la figure 95.

[25] Ces périodes sont issues d'observations sur le terrain et de calendriers agricoles (Corgne, 2004). Elles peuvent varier d'une année sur l'autre suivant les conditions climatiques et la région d'étude.

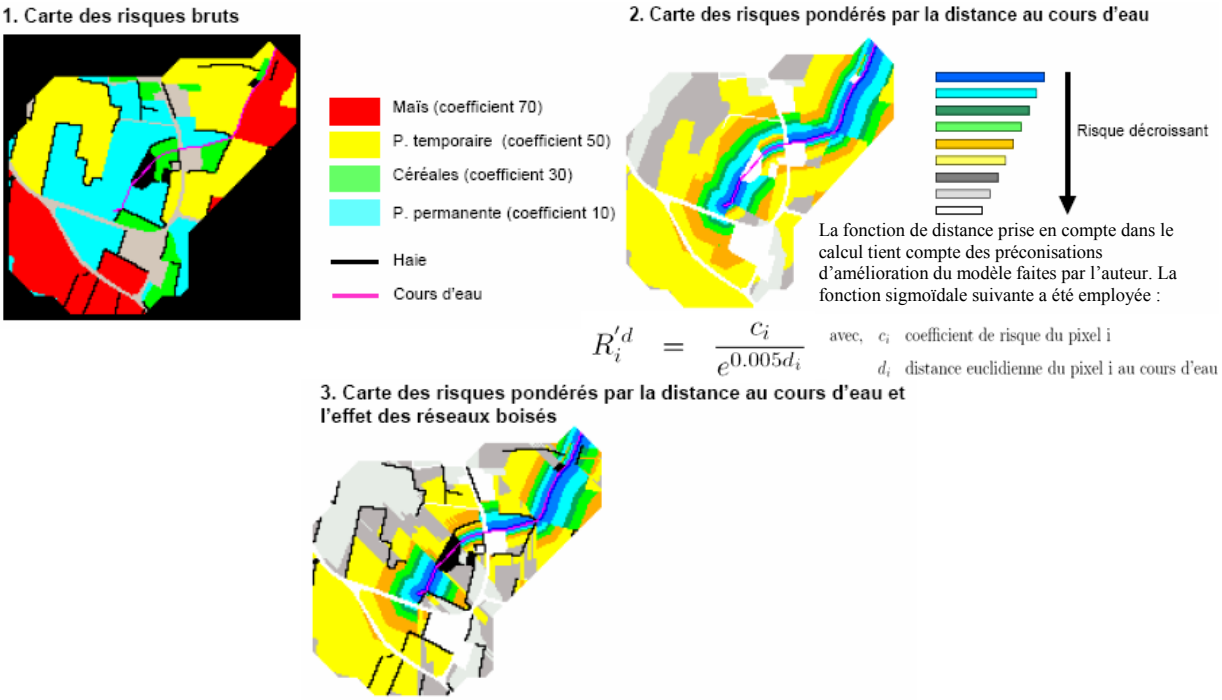


Figure 95. Principe de fonctionnement du modèle Landbuf : modèle d'analyse spatiale du risque de transfert de nutriments (*in* Viaud, 2004)

Le modèle s'applique sous bassin versant par sous bassin versant. Il permet ainsi de rendre compte de l'influence de la structure du bassin versant et des systèmes de production sur le risque polluant.

8.3.2.2.2. L'identification des zones contributives aux transferts de flux de surface : l'utilisation du modèle Odissés

Les transferts de flux de surfaces sont fortement contraints par un certain nombre de d'éléments (routes, haies, …), qui participent soit à réduire, soit à augmenter la « zone contributive » alimentant le réseau hydrographique par les flux de surface.

Le modèle Odissés (Outils DIStribués pour la Spatialisation des Ecoulements Superficiels), qui est une application développée au laboratoire RESO UMR 6590 CNRS dans le cadre d'une thèse portant sur l'apport des SIG pour la modélisation spatiale des écoulements superficiels en système bocager (Bocher et Bedel, 2004), permet d'évaluer le risque de transfert de produits phytosanitaires ou de matières phosphorées, déduits de l'étendue de la zone contributive. Cette dernière prend en compte les haies « puits » et se distingue ainsi de la zone calculée uniquement avec des données topographiques (figure 96). Ainsi, l'impact des scénarios prospectifs sur les transferts de flux de surface peut être évalué à l'aide de ce modèle.

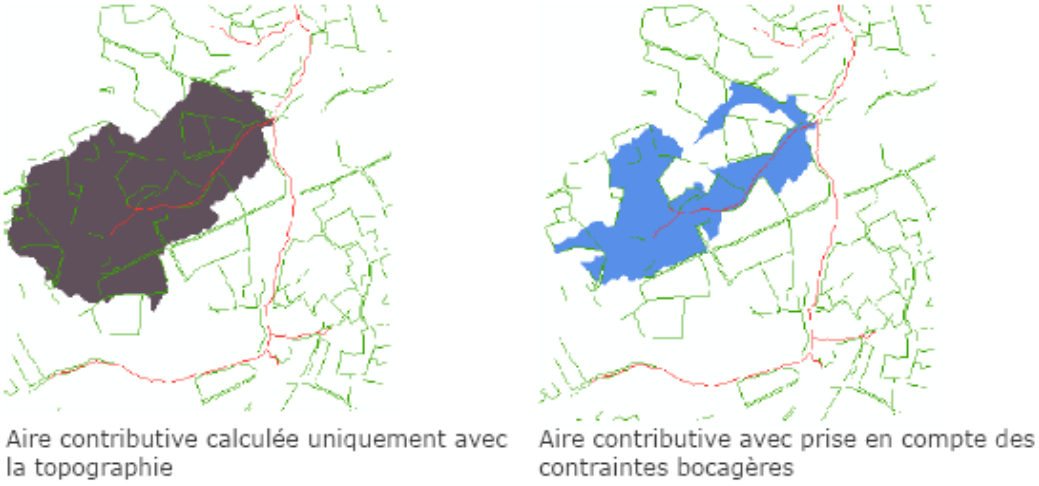


Figure 96. Distinction de la zone contributive « topographique » (à gauche) et celle tenant compte du rôle du bocage modélisé à l'aide du modèle Odissés (à droite - *in* Bocher et Bedel, 2004)

8.3.2.2.3. La détermination de l'influence des types d'occupation des sols sur les flux d'eau : l'utilisation du modèle Ruicells

L'analyse de phénomènes de crue a montré la complexité de la diffusion du ruissellement et le poids de l'organisation des types d'occupation des sols sur celui-ci (Langlois et Delahaye, 2002). Pour comprendre et modéliser ces phénomènes, le modèle RuiCells, a été développé au laboratoire MTG UMR 6063 CNRS de l'Université de Rouen.

RuiCells se présente sous la forme d'un automate cellulaire dans lequel les cellules sont associées à un élément unique du graphe topologique (triangle, arc ou pôle). Chaque cellule contient de nombreuses propriétés lui permettant de communiquer, de connaître la géométrie et la topologie de l'élément du graphe associé, mais aussi le contenu descriptif qui lui est associé : type d'occupation du sol, coefficient de ruissellement, précipitation, quantité d'eau accumulée, etc. (Langlois et Delahaye, 2002).

Certes, les bassins versants bretons ne possèdent pas la même configuration que ceux du Pays de Caux et font rarement l'objet d'inondations torrentielles. Toutefois, aux vues des enjeux liés à la gestion qualitative et quantitative de l'eau sur nos sites d'étude, il nous semblait intéressant d'évaluer quantitativement l'impact des changements des modes d'occupation des sols sur les flux d'eau. Cette évaluation se veut théorique, car la prise en compte du réseau linéaire boisé par ce modèle n'est pas totalement possible actuellement. Malgré tout, les implications possibles des différents scénarios sur l'érosion des sols, les phénomènes d'ennoiement des zones ripariennes et le potentiel hydrique d'un bassin versant peuvent être déduites et comparées à l'aide de ce modèle.

Pour évaluer l'impact des types d'occupation des sols sur les flux d'eau, des coefficients de ruissellement ont été appliqués (tableau 21). Les valeurs retenues sont discutables car elles sont valides pour les types de sols présents dans le Pays de Caux. Il n'existe pas à l'heure actuelle de valeurs similaires pour les types de sols sur socle granitique présents en Bretagne. Toutefois, nous avons fait le choix d'utiliser ces coefficients, car ils permettent de donner un ordre de grandeur aux différents flux d'eau générés par les scénarios, et ainsi de les comparer[26].

[26] De même, il convient de préciser que les coefficients de ruissellement peuvent varier suivant le type d'évènement pluvieux et les précipitations précédentes, le stade phénologique des plantes ou niveau de couverture des sols, les méthodes de travail du sol par les exploitants agricoles…

Utilisation du sol	Coeff.
Blé	0,2
Maïs	0,3
Prairie	0,05
Bois / Friches	0,05
Route	0,9
Eau	1
Zone d'habitat	0,4

Tableau 21. Coefficients de ruissellement employés dans RuiCells pour évaluer l'impact des changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols sur les flux d'eau théoriques

Les simulations sont réalisées pour un volume total de précipitations de 20 mm. Les conditions réelles sont largement simplifiées et identiques pour tous les scénarios testés, c'est-à-dire pour des situations différenciées des modes d'occupation des sols.

8.3.2.3. L'estimation d'indicateurs environnementaux

Dans la mesure où les modèles destinés à estimer les concentrations azotées, tel que le modèle TNT2 (Beaujouan *et al.*, 2001) ou le modèle de transfert d'herbicides (Tortrat, 2005), sont trop complexes à utiliser (besoin de données complémentaires, outils expérimentaux peu applicables à d'autres sites, ou exigeant en temps et en ressources, etc.), nous nous sommes basés sur des connaissances scientifiques pour évaluer approximativement l'impact des scénarios sur l'évolution des caractéristiques physico-chimiques de la ressource en eau.

Concernant les pollutions par les nitrates, Ayraud (2005) a montré que les aquifères fracturés hétérogènes présents dans les roches cristallines en Bretagne (schiste, granite,…), peuvent être décomposés en trois compartiments principaux que sont les zones de recharge de sub-surface, la zone altérée et la zone profonde. Dans chacun de ces compartiments les temps de résidence sont homogènes à l'échelle de la Bretagne : eaux récentes (7-8 ans) dans les zones de recharge, eaux anciennes (>50 ans) dans la zone profonde et un temps de résidence moyen de 18 ± 2 ans dans la zone altérée.

Concernant les pesticides, ce sont les herbicides utilisés pour la culture du maïs, d'une mobilité généralement plus forte que les autres pesticides, qui sont les plus susceptibles de se retrouver entraînés dans le milieu naturel (33% des pesticides appliqués en France (IFEN, 2002) et (Tortrat, 2005)). Donc plus la part de maïs à l'échelle d'un bassin versant est élevée, plus les risques de contamination par les produits phytosanitaires sont forts.

Concernant le phosphore, nous considérerons de façon simplifiée que la fermeture des zones humides engendre implicitement une augmentation de matières organiques dans les zones ripariennes et les cours d'eau. Leur décomposition engendre une hausse du stock en éléments azotés et phosphorés disponibles dans les milieux humides et, par conséquent, le risque de phénomènes d'eutrophisation dans les eaux continentales (Chantigny, 2003).

8.4. La démarche d'évaluation de l'apport des scénarios prospectifs spatialisés pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux

Si les scénarios prospectifs ne peuvent pas être évalués sur leur contenu[27], ils peuvent l'être vis-à-vis de l'apport qu'ils fournissent pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs

[27] Il n'est pas possible de valider des scénarios prospectifs car ils n'ont pas vocation à prédire les évolutions futures.

locaux. La démarche employée pour parvenir à l'évaluation des scénarios consiste en une démarche participative regroupant les gestionnaires de l'eau et acteurs locaux. Une réunion de travail a été organisée le 14 février 2006 à Lanrivain, dans les Côtes d'Armor (annexe 12).

Cette réunion avait deux objectifs :

- présenter les résultats des scénarios prospectifs spatialisés;

- faire évaluer les résultats et l'apport des scénarios par les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux à l'aide d'un questionnaire (annexe 13).

Le but de ce questionnaire n'est pas d'évaluer précisément les modes de restitution et l'apport des scénarios car le nombre de participants ne représente pas un échantillon statistiquement représentatif. Il s'agit de faire ressortir une appréciation des scénarios et de leurs éclairages suivant différents points de vue des acteurs concernés. Plus précisément, ce questionnaire vise à faire évaluer dans un premier temps les scénarios exploratoires, puis dans un second temps, les scénarios normatifs. Enfin, dans un troisième temps, il s'agissait de poser une série de questions portant sur l'apport des scénarios prospectifs spatialisés.

La restitution des scénarios prospectifs spatialisés aux gestionnaires de l'eau et acteurs locaux est une étape essentielle et indispensable à toute recherche appliquée : D'une part, la production de scénarios prospectifs n'a d'intérêt que s'ils sont restitués aux principaux intéressés ; D'autre part, c'est une étape préalable à la détermination, la confrontation et l'évaluation d'idées de façon participative. Ces idées peuvent constituer de futures préconisations ou moyens d'actions pour une gestion de l'eau efficace et durable. Dans ce cas, les scénarios prospectifs spatialisés peuvent être véritablement considérés comme des outils d'aide à la décision.

8.5. Conclusion partielle

Les scénarios exploratoires construits sur les trois sites d'étude ont pour objectif de d'évaluer l'influence de trois facteurs de changement sur l'évolution d'un paysage agricole bocager : la réforme de la PAC de 2006, l'agrandissement des exploitations agricoles et l'évolution du parcellaire. Trois hypothèses contrastées ont été retenues pour évaluer les influences possibles de la PAC 2006. Des hypothèses d'évolution tendancielle ont été choisies pour représenter l'agrandissement des exploitations et les changements de la structure parcellaire.

Les scénarios normatifs sont, quant à eux, construits à partir d'hypothèses très contrastées sur le devenir possible des composantes paysagères (modes d'occupation des sols, bocage, zones humides) à l'aide d'un corpus d'experts. Le croisement de ces hypothèses a conduit à définir trois scénarios normatifs sur un des sites d'étude, le Lestolet.

L'évaluation de ces scénarios s'appuie sur un ensemble de descripteurs destinés d'une part, à témoigner des changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères et d'autre part, à rendre compte des impacts possibles de ces changements sur la qualité de l'eau et les transferts de flux. Ces descripteurs utilisent les résultats spatialisés des scénarios pour être calculés, soit à l'aide des statistiques décrivant l'organisation spatiale du paysage, soit à l'aide de modèles distribués.

Enfin, l'évaluation de l'apport des scénarios prospectifs est réalisée par le biais d'un questionnaire rempli par les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux lors d'une réunion de restitution des scénarios.

CHAPITRE 9 - La spatialisation des scénarios prospectifs

La spatialisation des scénarios prospectifs a pour objectif de représenter les images du futur avec précision sous forme cartographique. Plusieurs types de méthodes peuvent être mobilisées à cet effet.

Le choix d'une méthode est effectué en fonction dont le temps est pris en compte dans les scénarios. Dans les scénarios exploratoires, le temps se déroule au fur et à mesure, alors que dans les scénarios normatifs, il s'agit de partir d'une image représentant la situation finale et de reconstruire rétrospectivement le cheminement.

Par conséquent, il semble logique de faire appel aux modèles dynamiques pour spatialiser des scénarios de type *forecasting* ou exploratoires. *A contrario*, il n'existe pas de méthode qui permette de remonter le temps de façon dynamique afin d'obtenir avec exactitude la configuration spatiale désirée décrite dans les scénarios de type *backcasting* ou normatifs. La seule manière utilisée pour y parvenir s'apparente aux analyses de types diachroniques, utilisant des représentations spatiales à des dates différentes.

Ce chapitre a pour objectif de présenter les méthodes qui sont utilisées dans le cadre de ce travail pour donner une dimension spatiale aux scénarios prospectifs.

Dans un premier temps, nous nous attacherons aux scénarios exploratoires. Une analyse comparative des modèles et plateformes existants est effectuée afin de déterminer celui ou celle qui semble le (la) plus adapté(e) à la problématique. L'outil choisi est validé en réalisant une simulation d'une évolution passée (1981-1998) sur l'un des sites d'études et en comparant les résultats de la simulation avec la situation réelle en 1998.

Dans un second temps, nous expliquerons la démarche employée pour spatialiser les scénarios normatifs.

9.1. Spatialisation des scénarios exploratoires : le choix d'une plateforme de modélisation dynamique et spatialement explicite (L1)

Il existe un grand nombre de modèles et plateformes qui produisent des simulations dynamiques de paysages[28] (Gaucherel *et al.*, 2004-a), c'est pourquoi il est nécessaire de réaliser une analyse comparative en fonction des spécificités propres aux paysages agricoles bocagers étudiés et de l'échelle d'approche adoptée (Houet et Gaucherel, sous presse).

9.1.1. Analyse comparative des modèles et plateformes existants pour la simulation des modes d'occupation des sols et des structures paysagères à l'échelle locale

L'analyse comparative doit être fondée sur des critères décrivant la façon dont le temps l'espace, les échelles et les types de processus modélisables sont gérés par les modèles et les plateformes de modélisation. Pour cela il est nécessaire de définir au préalable nos besoins en matière de modélisation et de simulations dynamiques de paysages agricoles bocagers.

[28] La notion de paysage est à prendre au sens large du terme et ne se limite pas aux paysages fragmentés tels que les paysages agricoles bocagers.

9.1.1.1. Quels sont les besoins ?

Quelles sont les contraintes inhérentes à la simulation dynamique d'un paysage agricole bocager? Par ordre d'importance, la simulation doit permettre :

(1) d'effectuer des changements géométriques (arasement de haies, agrandissement du parcellaire par la réunion de plusieurs parcelles agricoles) et attributaires (changement de type d'occupation du sol) ;

(2) d'intégrer la dynamique spatio-temporelle du paysage (changements cycliques, instantanés, progressifs) ;

(3) de prendre en compte la dimension multi-scalaire du paysage (limites des exploitations agricoles, niveau d'hydromorphie influençant la localisation et l'intensité des changements…) ;

(4) de modéliser les décisions humaines et les forçages naturels ;

(5) de manipuler des objets spatiaux à géométrie variable (linéaire, surfacique) ;

(6) de prendre en compte les relations topologiques existantes dans le paysage, tel que le voisinage d'une haie ou d'une parcelle par exemple.

9.1.1.2. Le choix de la plateforme L1

Le tableau 22 compare des modèles et plateformes de modélisation, leur manière de considérer le paysage et de gérer sa simulation. Ces modèles et plateformes décrits dans la littérature ne sont pas parfaitement adaptés à la simulation de paysage agricole de type bocager : TELSA (Kurz *et al.*, 2000) est dédiée à des paysages forestiers sans dynamique parcellaire et avec seulement des évolutions de type attributaire ; CAPSIS (de Coligny *et al.*, 2003) est limité à une modélisation de processus forestiers et adopte une structure de donnée qui freine la conception d'actions géométriques sur des parcelles ; CORMAS (Antona *et al.*, 1998 ; Bousquet *et al.*, 1998) gère particulièrement bien les processus socio-économiques centrés sur la gestion des ressources naturelles à travers son système multi-agents mais se concentre sur la communication entre agents et non sur l'évolution spatio-temporelle des composantes du paysage ; LANDIS (He *et al.*, 1999) permet des actions géométriques mais quasiment sans évolution attributaire et par sauts temporels importants, non graduels ; SME applique des processus déterministes à chaque pixel sans intégrer de relations topologiques et gère les échelles de temps et d'espace de façon simplifiée ; SELES (Fall *et al.*, 2001) n'adopte pas une vison discontinue du paysage et gère mal les échelles telles que les relations multi-scalaires ; CLUE (Veldkamp and Fresco, 1996 ; Verburg *et al.*, 1999) gère quant à lui particulièrement bien les relations multi-scalaires et la simulation de processus socio-économiques, mais ne permet pas d'actions géométriques tels que des arasements de haies ou des réunions de parcelles.

Ainsi, la plateforme L1 (Gaucherel *et al.*, 2004-b) semble la plus adaptée à la simulation d'un paysage agricole bocager, même s'il s'agit encore d'un prototype. Elle considère les objets du paysage comme un ensemble de pixels liés qu'elle peut faire évoluer individuellement (orienté objet) sur le plan attributaire et/ou géométrique, suivant des dynamiques temporelles continues et/ou discontinues, progressives et/ou cycliques. Elle intègre l'influence de plusieurs niveaux scalaires, du voisinage, des décisions humaines et des forçages naturels. Elle est particulièrement bien adaptée à l'appréhension du paysage à une échelle fine, celle de la haie ou de la parcelle.

	TELSA	LANDIS	CORMAS	CAPSIS	SME	SELES	CLUE	L1
Dynamique paysagère	Non	Oui	Non	Non	Non	Oui	Oui	Oui
Description de l'espace	Vecteur Tessels	Raster	Vecteur ou Raster	Vecteur ou Raster	Raster	Raster	Raster	Raster
Représentation du paysage	Discontinu	Continu	Continu et/ou Discontinu	Continu et/ou Discontinu	Continu	Continu	Continu	Continu et/ou Discontinu
Gestion du temps	Discontinu (scénarios)	Discontinu	Discontinu	Discontinu (scénarios)	Continu	Continu	Discontinu	Discontinu
Gestion des échelles	Non	Non	Hiérarchique	Hiérarchique	Hiérarchique	Non	Hiérarchique Multirésolution	Hiérarchique
Structures des données	-	-	Orienté objet	Orienté objet	Orienté objet	Orienté objet	-	(Orienté objet)
Processus potentiels	Forestiers	Tous	Tous	Forestiers	Déterministes	Tous Forestiers	Tous	Tous
Actions autorisées	Attributaires	Géométriques	Attributaires	Géométriques Attributaires	Attributaires	Attributaires	Attributaires	Géométriques Attributaires
Calibration / validation	Non	Non	Oui	Oui	Oui (poussée)	Non	Oui	Non (Oui)

Tableau 22. Tableau comparatif des plateformes de modélisation et leur manière de considérer le paysage et de gérer sa simulation (d'après Gaucherel *et al.*, 2004-a adapté, *in* Houet et Gaucherel, sous presse)

L'analyse comparative de ces plateformes nous a conduit à réaliser des simulations prospectives dynamiques et spatialement explicites d'un paysage agricole bocager avec la plateforme L1.

9.1.1.3. Les principes de fonctionnement de la plateforme L1

Fondée sur l'agencement de la plateforme CAPSIS, la plateforme de modélisation L1 est conçue sur un noyau qui structure la représentation et le fonctionnement d'un paysage générique suivant un cheminement précis et hiérarchisé. Ce noyau constitue le « squelette » du paysage. L'évolution du paysage est guidée par des décisions humaines (ex : loi européenne, choix des agriculteurs…) et des forçages naturels (climat, hydromorphie des sols…) qui sont alors traduits en une combinaison de processus (évolution des assolements, rotations culturales, évolution de la densité bocagère…) déclinés en actions unitaires géométriques (réunion de parcelles, arasement d'une haie…) et/ou attributaires (changement d'occupation du sol…) qui portent sur des unités paysagères (parcelle, haie…).

Autour de ce noyau viennent se greffer des extensions permettant l'analyse du paysage (*tools*) et des applications spécifiques (*models*) (figure 97). Les applications intègrent les relations de voisinage et multi-scalaires à l'aide de modèles à base d'agents (individus centré, multi-agents), de cellules (automates cellulaires) ou orientées objet. Elles sont fondées sur une discrétisation de l'espace et du temps afin d'intégrer un contexte évènementiel qui fait évoluer le paysage de façon variationnelle dans deux ou trois dimensions. Divers descripteurs peuvent être alors calculés à partir du paysage produit.

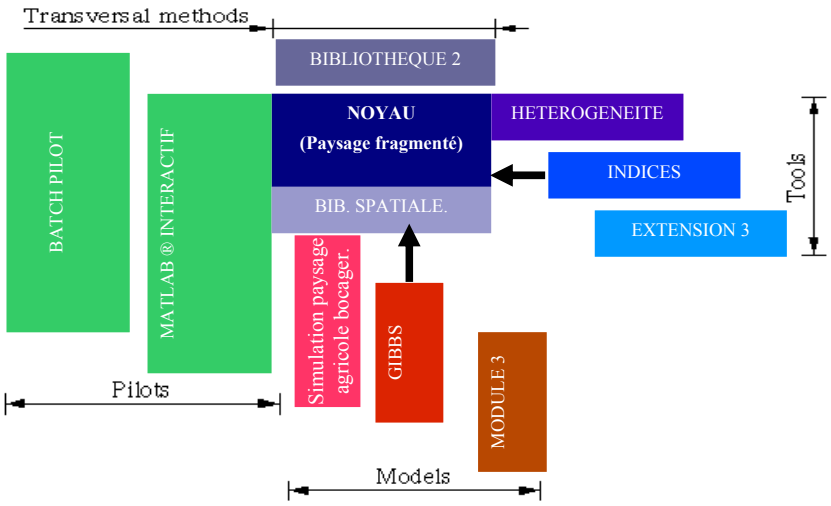


Figure 97. Structuration de la plateforme de modélisation L1 (d'après Gaucherel *et al.*, 2004-a, adapté)

Les objectifs de cette plateforme sont de (1) contribuer à la conception de modèles distincts et de comparer leurs résultats, (2) partager les outils et les méthodes, (3) présenter ces modèles à un éventail d'utilisateurs potentiels, (4) proposer un outil didactique pour la formation en modélisation du paysage (Gaucherel *et al.*, 2004-a ; Giboire, 2004). La modélisation de l'évolution d'un paysage agricole bocager constitue une des applications de cette plateforme réalisée avec le logiciel Matlab. D'autres applications, en cours de développement, portent sur l'écologie (flux de populations) ou la foresterie (module *Gibbs*).

9.1.1.4. Le fonctionnement du module de simulation de paysages agricoles bocagers

9.1.1.4.1. Les données d'entrée

La simulation dynamique et spatialement explicite d'un paysage agricole bocager avec la plateforme L1 nécessite en entrée deux types de paramètres : des paramètres descriptifs de la structure spatiale du paysage et des paramètres décrivant les dynamiques temporelles des différentes composantes du paysage. La figure 98 synthétise le fonctionnement général du modèle développé, les données d'entrée nécessaires et la hiérarchisation des processus d'évolution du paysage.

La structure spatiale d'un paysage agricole bocager est définie à l'aide de trois couches d'informations, comportant chacune des informations spatiales (unités spatiales sur lesquelles les actions et les processus se réalisent) et des informations alphanumériques (ex : types d'occupation des sols). La première couche correspond aux limites spatiales des exploitations agricoles (appelée *EAunit*), la seconde renseigne le niveau d'hydromorphie des sols (*Hunit*) et enfin la troisième est une synthèse de l'occupation du sol et du bocage du site d'étude (*Unit)*.

Des données alphanumériques complémentaires sont indispensables pour simuler de façon réaliste l'évolution d'un paysage agricole bocager : (1) les coordonnées des sièges d'exploitations, pour calculer la distance des parcelles au siège, (2) le système de production adopté par l'exploitant, pour connaître les assolements, (3) la surface totale de chacune des exploitations, pour savoir si elle est entièrement incluse dans le site d'étude ou non et (4) l'âge de l'exploitant, pour connaître la date d'une reprise éventuelle de l'exploitation concernée. Cette dernière donnée n'est pas aussi indispensable que les données citées précédemment, mais elle contribue à améliorer le réalisme de la simulation.

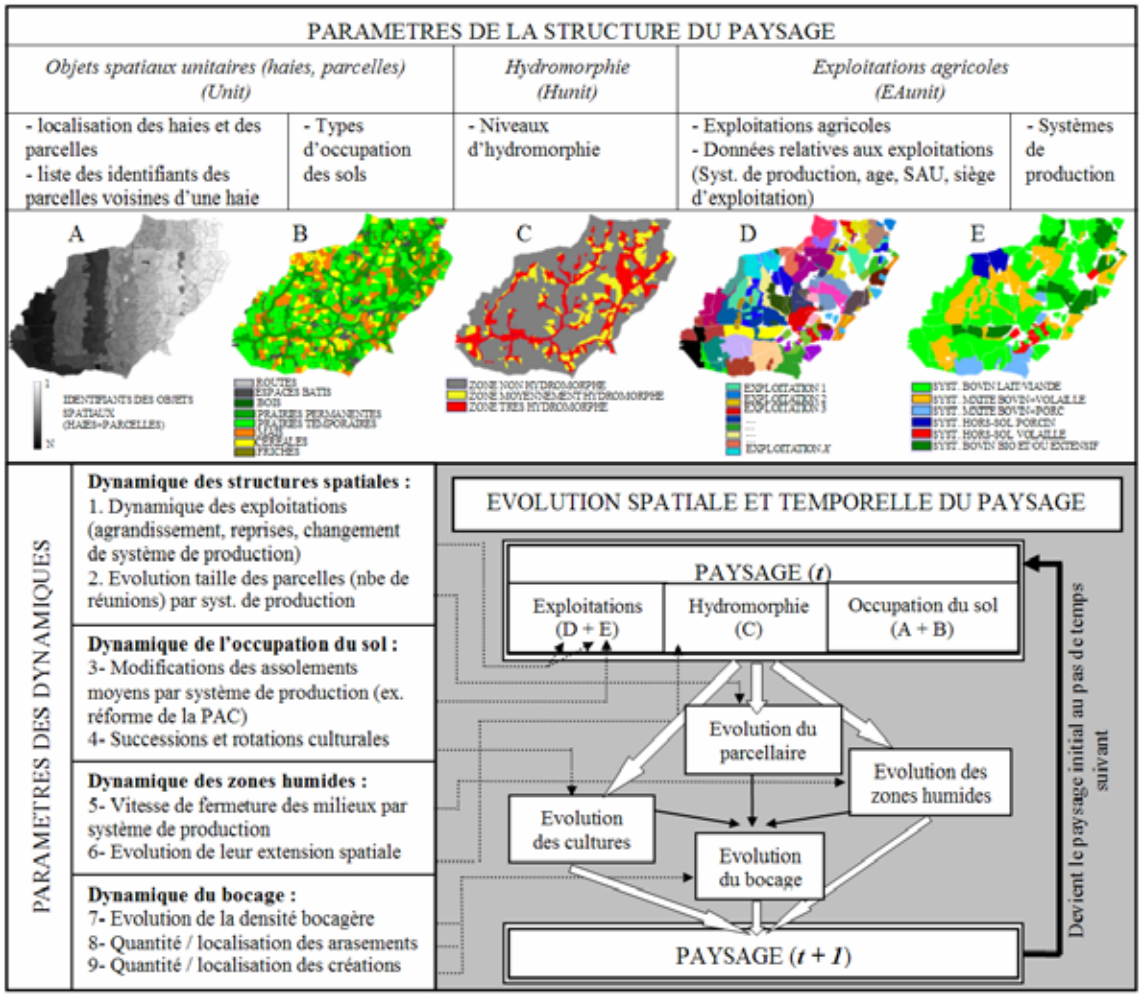


Figure 98. Schéma de synthèse des paramètres nécessaires et du fonctionnement du module pour réaliser une simulation d'un paysage agricole bocager avec la plateforme L1 (*in* Houet et Gaucherel, sous presse)

9.1.1.4.2. Les processus modélisés et les actions développées

Le fonctionnement de la plateforme L1 repose sur une multitude d'actions développées sous Matlab, hiérarchisées suivant des processus modélisés. Ainsi, les dynamiques des structures foncières, de l'occupation des sols, des zones humides de fonds de vallées et du bocage sont déclinées en un ou plusieurs processus (tableau 23). Par exemple, la modélisation de la dynamique des structures foncières est réalisée à travers les reprises d'exploitations et l'agrandissement du parcellaire. Chacun de ces processus se décline en une ou plusieurs actions qui individualisent et modélisent les différents types de changements affectant les structures foncières, les modes d'occupation des sols, le bocage et les zones humides. Par exemple, le processus de reprise d'exploitation est effectué soit par la reprise par un jeune agriculteur (changement de l'age de l'exploitant et éventuellement de système de production), soit par la reprise par une exploitation définie (nouvel exploitant, nouveau siège, et éventuellement nouveau système). Les processus et les actions développées sont synthétisés dans le tableau suivant.

Dynamique modélisée	Processus modélisé	Action(s) développée(s)
Dynamique des structures foncières	Reprise d'une exploitation	Reprise par le fils
		Reprise par une exploitation voisine définie
	Agrandissement du parcellaire	Réunion de parcelles* (arasement de la haie située entre les deux parcelles s'il y en a une)
Dynamique de l'occupation des sols	Changement des assolements moyens des systèmes de production	Attribution de nouvelles valeurs d'assolement pour chacun des systèmes de production
	Successions culturales	Affectation stochastique d'un type d'occupation du sol*, *** et respectant l'assolement du système de production**
	Modification des successions culturales	En cas de changement de système de production, possibilité de changer les types de successions culturales
Dynamique des zones humides	Evolution des types d'occupation des sols des parcelles humides	Evolution des prairies permanentes en friches*, ***
		Evolution des friches en bois*, ***
Dynamique du bocage	Evolution de la densité bocagère sur une période	Mise en place d'une contrainte globale à respecter visant à contrôler le nombre de haies créées/arasées
	Création de haies	Création aléatoire d'un nombre défini de haies au sein de la SAU
		Création de haies à proximité des routes et du bâti
		Création de haies entre une parcelle humide et une parcelle non humide (sauf pour des parcelles boisées)
	Arasement de haies	Arasement aléatoire d'un nombre défini de haies
		Arasement aléatoire de haies à proximité d'une route
		Arasement aléatoire de haies situées au sein du parcellaire d'une exploitation (excepté celles à proximité d'une prairie humide, d'une surface bâtie, d'une route)

** ces actions sont dépendantes de certains critères (le système de production, la taille relative des parcelles, la distance relative au siège d'exploitation des parcelles)*
*** l'assolement tient compte de la taille totale de l'exploitation et pas seulement des parcelles de l'exploitation présente dans le bassin versant*
**** Pour chacune des parcelles, une occurrence de l'occupation du sol considérée est tiré aléatoirement au début de la simulation*

Tableau 23. Tableau de synthèse des actions développées pour simuler de façon dynamique l'évolution d'un paysage agricole bocager

Deux autres exemples d'actions sont décrites ci-dessous : les successions culturales et l'évolution des types d'occupation du sol.

1- Les successions culturales ont été modélisées de façon à reproduire le plus fidèlement possibles l'allocation spatiale de types d'occupation des sols. Elles tiennent compte de la culture précédente et de sa durée, son occurrence étant tirée aléatoirement pour définir l'état initial. Par exemple, une parcelle occupée deux années consécutives par du maïs est définie à l'état initial soit en année 1, soit en année 2. Elles varient suivant la distance relative des parcelles au siège d'exploitation. En raison de la variabilité des structures spatiales des exploitations agricoles (regroupées, très éclatées), il est nécessaire de travailler avec la notion de « distance relative » qui tient compte à la fois de la répartition relative de l'ensemble des parcelles par rapport au siège d'exploitation mais aussi d'une distance euclidienne (Giboire, 2004 ; Viaud, 2004). Trois zones ont été définies pour une exploitation : la « zone proche » correspond au 1/3 de la SAU situé dans la zone la plus proche du siège d'exploitation ; la « zone éloignée » représente le 1/3 de la SAU le plus éloigné du siège et la « zone intermédiaire » représente le tiers situé entre les deux zones précédentes.

2- Les types d'occupation du sol évoluent de façon quasi-stochastique du fait de transitions systématiques entre certaines cultures (contraintes agronomiques) et de transitions stochastiques visant à obtenir un assolement le plus proche possible de l'assolement moyen du système de production adopté par une exploitation donnée (figure 99). Par exemple, dans la zone éloignée, une prairie évolue en maïs l'année suivante (succession obligatoire). L'année suivante, si la proportion en maïs à l'échelle de l'exploitation est atteinte alors la parcelle est occupée par des céréales/oléo-protéganieux. Sinon, une de ces deux cultures est choisie aléatoirement pour succéder à la prairie (succession stochastique) jusqu'à l'obtention des assolements requis, sachant que les céréales sont toujours implantées sur des parcelles non hydromorphes.

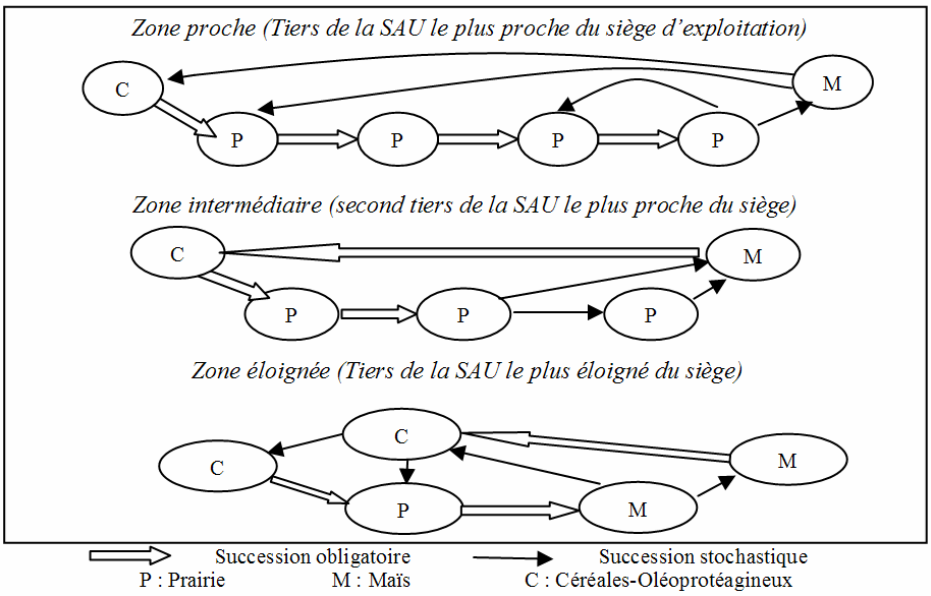


Figure 99. Modélisation de l'allocation spatiale des types d'occupation du sol : des successions culturales variables selon la distance des parcelles au siège d'exploitation agricole et des contraintes agronomiques

9.1.1.4.3. Le fonctionnement dynamique du module « Paysage agricole bocager »

Le paysage évolue d'après un scénario qui définit l'ensemble des actions nécessaires (quantité, intervention dans le temps) à la modélisation des processus modélisés. L'évolution spatio-temporelle d'un paysage est le résultat des changements issus des actions et de leurs interactions (figure 98 p. 221). Par exemple, lorsqu'une exploitation reprend en totalité une exploitation voisine, la distance des parcelles à cette dernière par rapport au siège d'exploitation change. Une petite prairie humide devenue éloignée du nouveau siège peut dès lors être abandonnée. Elle devient une friche au bout de 5 ans. La sixième année, elle est déduite de la proportion de surfaces en herbe lors du calcul de l'assolement de cette exploitation et ce qui a des répercussions sur l'allocation spatiale des prairies temporaires. L'agrandissement récent d'une exploitation modifie également les règles d'allocation des types d'occupation des sols. Il en va de même pour l'agrandissement des parcelles qui peut, en plus, engendrer l'arasement des haies situées entre elles.

Au final, le paysage résultant du premier pas de temps est utilisé comme paysage initial (t) au pas de temps suivant (figure 98 p. 221). Le pas de temps retenu ici est l'année.

D'après la classification des modèles faite par Cheng (2005), l'ensemble des propriétés de cette application de L1 la classe parmi les *spatio-temporal object model*. L'approche « objet » ne tient pas dans la structuration informatique (orienté-objet) mais dans les relations spatiales (topologique, multi-scalaires) entre objets spatiaux.

9.1.1.4.4. Les types de sorties

La plateforme L1 produit une cartographie annuelle des types d'occupation et d'utilisation des sols à partir desquelles sont calculées les descripteurs présentés dans le paragraphe 8.3.1. (p. 210). Elle produit aussi une animation vidéo de l'évolution des modes d'occupation des sols.

9.1.2. La validation de la plateforme de modélisation du paysage L1

La validation de simulations de paysages représente encore à l'heure actuelle un défi. Il apparaît en effet très ambitieux, voire même illusoire de prédire avec précision l'avenir d'un territoire et sa traduction dans le paysage. Mais comment s'assurer que le résultat d'une simulation représente un paysage réaliste ayant suivi un cheminement plausible qui reste en cohérence avec l'ensemble des facteurs qui interviennent dans son évolution ? Autrement dit, comment être sûr que le modèle utilisé simule un paysage avec efficacité, en atteignant des objectifs d'évolution – recherche d'une densité bocagère finale par exemple –, et avec souplesse, en introduisant de la stochasticité ?

L'évaluation de l'efficacité et de la souplesse du modèle développé pour simuler l'évolution d'un paysage agricole bocager passe par (1) la vérification du degré de réalisme des actions modélisées et (2) la comparaison du résultat de la simulation avec le paysage réel.

9.1.2.1. Tests de sensibilité : une simulation réaliste des processus d'évolution d'un paysage agricole bocager

Chacune des actions nécessaires à la réalisation des processus d'évolution du paysage a été testée et quantifiée indépendamment. Au total, ce sont près de 16 actions et une quinzaine de descripteurs des modes d'usages des terres et des paysages qui ont fait l'objet de tests de sensibilité, certaines de ces actions pouvant varier suivant des critères attributaires (ex : la vitesse de fermeture des zones humides dépend du système de production agricole adopté par l'exploitant). Au final, le nombre de tests de sensibilité est répété de 3 à 50 fois suivant les actions et les descripteurs. Le nombre de tests de sensibilité effectués étant important, seuls trois exemples sont présentés ci-après.

Le premier exemple concerne la modélisation des assolements par système de production. Un assolement théorique à atteindre au terme des phases de simulations est fixé pour l'ensemble des exploitations (figure 100-a). Une simulation des successions culturales a été réalisée à un pas de temps annuel sur une période de 20 ans afin de vérifier si cet assolement était respecté pour chaque système de production. Cette simulation a été répétée 50 fois à travers une démarche de type Monte Carlo afin d'obtenir des valeurs moyennes issues de 50 simulations différentes. Cette figure montre, pour trois systèmes de production, que les assolements moyens obtenus sont très proches des assolements théoriques. Ces écarts proviennent des successions culturales stochastiques et sont représentatifs de la variabilité des assolements réels d'une exploitation à l'autre ou d'une année à l'autre.

Le second exemple, complémentaire du précédent, illustre l'évolution dans le temps de l'assolement pour chacun des systèmes de production, notamment lorsqu'un évènement tel que la réforme de la PAC de 1992 intervient. L'objectif est de voir, d'une part, si l'assolement

annuel est proche de l'assolement théorique et, d'autre part, si l'assolement annuel évolue effectivement lorsque l'assolement théorique change. Là encore, une démarche de type Monte Carlo a permis de tester une dizaine de fois l'évolution des assolements pour chacun des systèmes de production. La figure 100-b met en évidence, pour le système « mixte bovin+volaille » par exemple, que l'assolement annuel est tantôt supérieur, tantôt inférieur aux valeurs théoriques avec des écarts faibles, inférieurs à 5%. Des résultats similaires ont été obtenus pour les autres systèmes de production. Ils montrent des variations interannuelles de l'assolement peu éloignées de l'assolement moyen, conformément à la réalité : les successions culturales pratiquées par l'exploitant se produisent sur des parcelles de taille différente, engendrant des variations annuelles des surfaces cultivées. Les résultats obtenus rendent également bien compte de l'incidence de la réforme de la PAC sur l'évolution de l'occupation des sols.

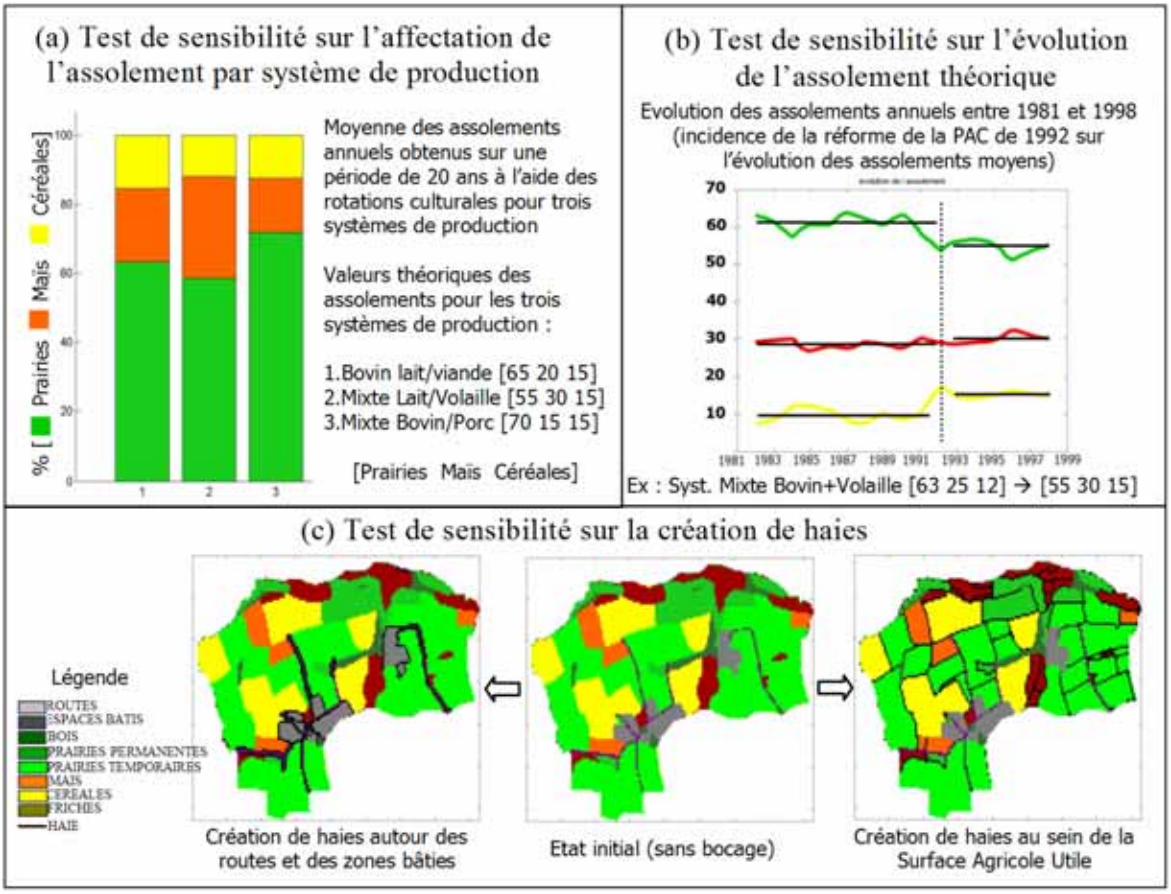


Figure 100. Exemples de tests de sensibilité (a) du respect de l'assolement par système de production, (b) sur l'évolution des assolements dans le temps et (c) sur la création de haies (*in* Houet *et al.*, sous presse)

Le dernier exemple (figure 100-c) présente la création contrôlée de haies suivant des localisations précises (autour des routes et du bâti ; au sein de la SAU) sur une petite zone d'étude vierge de tout bocage. Dans chacun des deux exemples, la création de haies intervient jusqu'à atteindre la situation maximale, aucune création n'étant alors plus possible. Par exemple sur l'image de droite de la figure 100-c, les haies ont été créées tant que cela a été possible mais sans jamais être implantées à proximité des routes, bois et zones bâties situées en limite et non au sein *stricto sensu* de la SAU. De la même façon, l'image de gauche illustre l'implantation maximale de haies à proximité des routes et des surfaces bâties.

Ces tests de sensibilité du modèle de simulation ont permis de corriger l'algorithme afin de mieux modéliser les processus d'évolution des modes d'usages des terres.

Au final, trois types de tests de sensibilité ont été réalisés afin d'évaluer la modélisation des mécanismes, d'évaluer la simulation de l'évolution des modes d'usages des terres et d'assurer de la mise à jour des objets spatiaux. Ils se sont avérés concluants, conférant un fort degré de réalisme à la simulation dynamique du paysage bocager produite à l'aide de la plateforme L1.

9.1.2.2. Evaluation d'une simulation effectuée sur une période passée

L'objectif de cette étape de travail est d'évaluer l'efficacité et la souplesse du modèle développé pour simuler de façon plausible l'évolution d'un paysage agricole bocager avec la plateforme L1, à travers la réalisation d'une simulation effectuée sur une période passée et sur un territoire réel. A l'aide des trajectoires d'évolutions, rappelées succinctement dans un premier temps, nous avons cherché à reproduire les changements observés entre 1981 et 1999. Ensuite, les résultats de la simulation sont comparés avec la situation réelle de 1999.

9.1.2.2.1. Rappel des changements observés sur le Lestolet entre 1981 et 1998

Entre 1981 et 1998, la densité bocagère est passée de 145 à 124 m/ha, soit de 200 km à 170 km de linéaire boisé. Cela représente la perte quasi continue de 31.5 km de linéaire bocager (13.5 km arasés au sein d'îlots de parcelles culturales non hydromorphes relativement éloigné du siège d'exploitation ; 5.5 km arasés à proximité des routes ; 12.5 km dont le contour bocager n'est plus différentiable avec la surface boisée d'une parcelle) et la création de 1.5 km de haies à proximité des bâtiments d'élevage (1 km) et des routes (0.5 km). En l'absence d'aménagement foncier, cette évolution est le fait d'actions individuelles des exploitants agricoles, de l'élargissement des routes par les organismes *ad hoc* et de la création de haies par le programme Harmonie. Les zones humides de fonds de vallées ont peu évolué spatialement, seulement 20 ha ayant été drainés, mais ont connu une forte fermeture : les friches et bois totalisaient 42 ha en 1981 contre 151 ha en 1998. Enfin, les proportions de maïs et de céréales ont légèrement augmenté au détriment des prairies temporaires.

L'analyse de l'évolution de la structure du parcellaire par système de production une augmentation de la taille moyenne du parcellaire mais avec une ampleur différenciée selon les systèmes de production. Dès 1981, le système « porcin » se distingue des autres systèmes de production avec des parcelles de 1.6 ha en moyenne contre 1 ha pour les autres systèmes. L'écart existant entre le système « porcin » et les autres (2.7 ha en moyenne contre des tailles moyennes variant entre 1.1 et 1.6 ha) s'accentue sur la période 1981-1998.

Les assolements ont eux aussi évolué entre 1981 et 1998 en raison de la mise en place des Quotas Laitiers de 1982/83, de la réforme de la PAC et des MAE (Mesures Agro-Environnementales) de 1992. L'évolution de la proportion moyenne des cultures principales (prairies, maïs, céréales) pour chacun des systèmes de production recensés sur le Lestolet est présentée dans le tableau 24. Ces données sont issues des recensements agricoles (ONIC, 1979 et 2000) et des modes d'occupation et d'utilisation du sol observés sur le Lestolet et sur d'autres bassins versants bretons (Conseil Général des Côtes d'Armor, 1999 ; Hubert-Moy *et al.,* 2003-b). Les primes aux céréales et au maïs fourrager ont engendré, pour les exploitations tournées vers les systèmes « bovin » ou « bovin mixte », une baisse de la proportion des prairies au profit du maïs fourrager (destiné à l'alimentation du cheptel bovin) et des céréales. Ces primes ont incité les exploitations orientées vers le système « porcin » à abandonner la production de maïs au profit des céréales et oléo-protéagineux. A l'inverse, les exploitations appartenant au système « volaille » semblent s'être orientées vers une production de maïs au détriment des prairies et, dans une moindre mesure des céréales. Les primes à l'herbe ont

incité les exploitations du système « bovin extensif /bio » à réduire la part de maïs au profit essentiellement des prairies.

Systèmes de production	Assolement avant 1992			Assolement après 1992		
	P	M	C-OP	P	M	C-OP
Bovin lait et/ou viande	70 %	17 %	13 %	65 %	20 %	15 %
Mixte bovin + volaille	63 %	25 %	12 %	55 %	30 %	15 %
Mixte bovin + porc	80 %	10 %	10 %	70 %	15 %	15 %
Porcin « option cultures »	10 %	40 %	50 %	10 %	10%	80%
Volaille	45 %	40 %	15 %	35 %	55 %	10 %
Bovin extensif / bio	88 %	10 %	2 %	90 %	5 %	5 %

P : Prairies M : Maïs C : Céréales OP : Oléo-protéagineux

Tableau 24. Evolution des assolements par système de production entre 1981 et 1998 sur le Lestolet (sources : Hubert-Moy et Houet, 2004 ; Conseil Général des Côtes d'Armor, 1999)

L'historique de l'évolution des territoires d'exploitation agricole a une incidence à la fois sur la structure spatiale des exploitations ainsi que sur les systèmes de production présents à l'échelle du bassin versant. L'évolution des territoires d'exploitation n'a pas pu être précisément identifiée car les données délimitant les territoires d'exploitation en 1981 ne sont pas disponibles. A partir des limites d'exploitations de 1998, de la localisation de sièges d'exploitation observés sur les photographies aériennes de 1981, de la taille moyenne des exploitations en 1979 (ONIC, 1979), de l'âge des exploitants et de témoignages d'agriculteurs, il a été possible de délimiter des exploitations ayant été reprises *a priori* par un exploitant voisin en estimant des départs à la retraite vers l'âge de 60 ans.

9.1.2.2.2. L'évolution simulée du paysage entre 1981 et 1998

L'évolution de la répartition des modes d'occupation des sols montre sur le bassin versant[29] une baisse de la place des prairies dans l'assolement jusqu'en 1985, passant de 55% à 49% de la surface totale du bassin versant (figure 101-a). Elle s'explique par deux facteurs : (1) entre 1981 et 1983, une petite proportion de prairies permanentes a été abandonnée et a évolué en friches ; (2) entre 1981 et 1985, quatre exploitations ont été reprises par des exploitations voisines dont le système de production présente un assolement ayant une proportion de prairies inférieure (une exploitation caractérisée par un système de production extensif s'est orientée vers un système de type « bovin lait et/ou viande », deux exploitations en système de production extensif sont passées à un système de type « mixte bovin+volaille », une exploitation appartenant à un système de type « bovin lait et/ou viande » s'est réorientée vers un système de type « mixte bovin+volaille »). Entre 1986 et 1998, les surfaces consacrées aux prairies sont restées relativement stables, autour de 50% de la surface totale, alors qu'une baisse était supposée intervenir à partir de 1992 suite à la réforme de la PAC. Cela s'explique là encore par l'évolution des exploitations agricoles : deux grandes exploitations de 40 et 50 hectares ont adopté, suite à cette réforme, un système de production de type extensif ou biologique, compensant la légère baisse de la proportion de prairies des autres exploitations. Ceci confère une impression de stabilité des surfaces occupées par les prairies entre 1985 et 1998 (figure 101-a). En conséquence, les surfaces occupées par le maïs et autres céréales ont peu évolué sur l'ensemble de la période. La réalisation d'une dizaine de simulations à partir du tirage aléatoire de l'occurrence des types cultures et des successions stochastiques a débouché sur des résultats légèrement différents, mais témoignent des mêmes

[29] Le bassin versant se limite ici à l'ensemble des parcelles agricoles pour lesquelles l'exploitant agricole a été identifié.

tendances d'évolution, c'est-à-dire une stabilité des surfaces en céréales, une augmentation des surfaces en maïs et une baisse des prairies jusqu'en 1985, suivie d'une période où leurs proportions sont restées stables.

L'évolution du bocage montre une baisse de la densité bocagère dont la vitesse de régression diminue légèrement à partir de 1994, date du début d'implantation du néo-bocage dans le cadre du programme Harmonie (figure 101-b). La régression du bocage représente en terme de densité une perte de 15 m/ha, correspondant à la disparition de 275 haies.

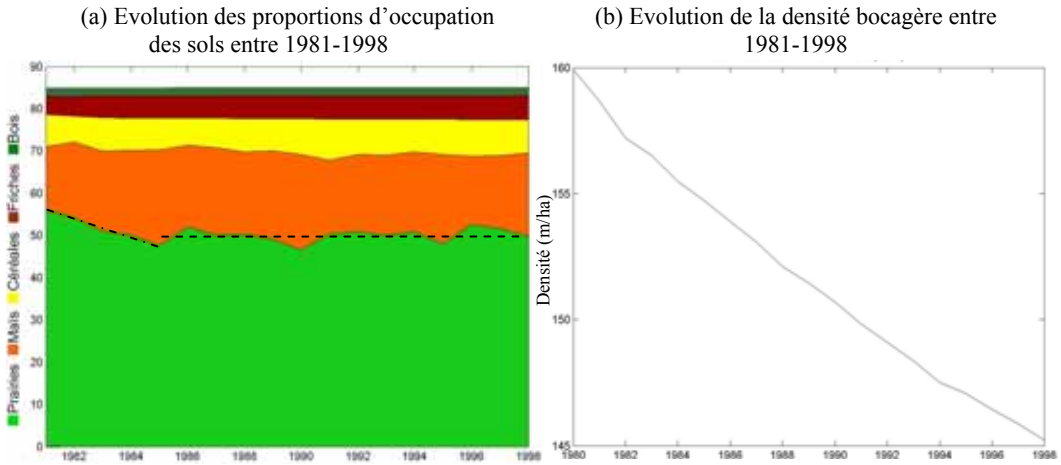


Figure 101. Evolution temporelle de l'occupation du sol et du bocage du bassin versant du Lestolet entre 1981 et 1998 simulée par la plateforme L1 (*in* Houet et Gaucherel, sous presse)

9.1.2.2.3. La comparaison « paysage simulé / paysage réel » en 1998

La comparaison du résultat de la simulation avec la situation réelle en 1998 est réalisée sur chacune des composantes du paysage (occupation agricole des sols, bocage, zones humides).

➢ Des situations différentes mais aux proportions similaires

A l'échelle du bassin versant, les surfaces occupées par les prairies, le maïs et les autres céréales simulés pour l'année 1998 atteignent respectivement 49%, 19% et 8%. Dans la réalité, ces surfaces ont des valeurs très proches : 41% de prairies, 14% de maïs et 13% de céréales. Ces variations s'expliquent par la stochasticité des successions culturales, mais aussi par une sous-estimation des céréales au profit du maïs et des prairies. Ainsi, la figure 102 révèle, dans la partie centre-nord du Lestolet, une forte lacune en céréales au niveau d'une exploitation porcine. Le changement des assolements moyens du système porcin suite à la réforme de la PAC de 1992 révèle que la simulation des successions culturales est dans ce cas inadaptée et nécessite de nouveaux développements. Elle ne permet pas de simuler des surfaces en céréales/oléo-protéagineux atteignant dont les proportions avoisinent les 80%. De plus, la simulation des modes d'occupation du sol pour les exploitations non entières, c'est-à-dire dont la superficie totale n'est pas strictement incluse dans le bassin versant, constitue une source de variation potentielle des proportions de prairies, de maïs et de céréales. Par ailleurs, une partie de la surestimation des prairies dans le quart nord-est du bassin versant visible sur la figure 102 provient de plantations de boisements, difficiles à prévoir et non modélisées.

Les parcelles très hydromorphes, les plus susceptibles d'être abandonnées, représentent en 1998 une superficie de 130 ha[30], composée de 73 ha de prairies permanentes, 53 ha de friches et 4 ha de bois. A la fin de la simulation, les superficies obtenues pour ces mêmes parcelles représentent 80 ha de prairies permanentes, 44 ha de friches et 6 ha de bois. Ces résultats montrent qu'une modélisation simplifiée de la fermeture des zones humides produit des résultats assez satisfaisants. Les différences sur le plan quantitatif et de la localisation des parcelles très hydromorphes en friches et boisées (figure 102) proviennent à la fois des tirages aléatoires de la durée des prairies permanentes à l'état initial, mais aussi des décisions individuelles des exploitants agricoles, ces dernières étant difficilement modélisables.

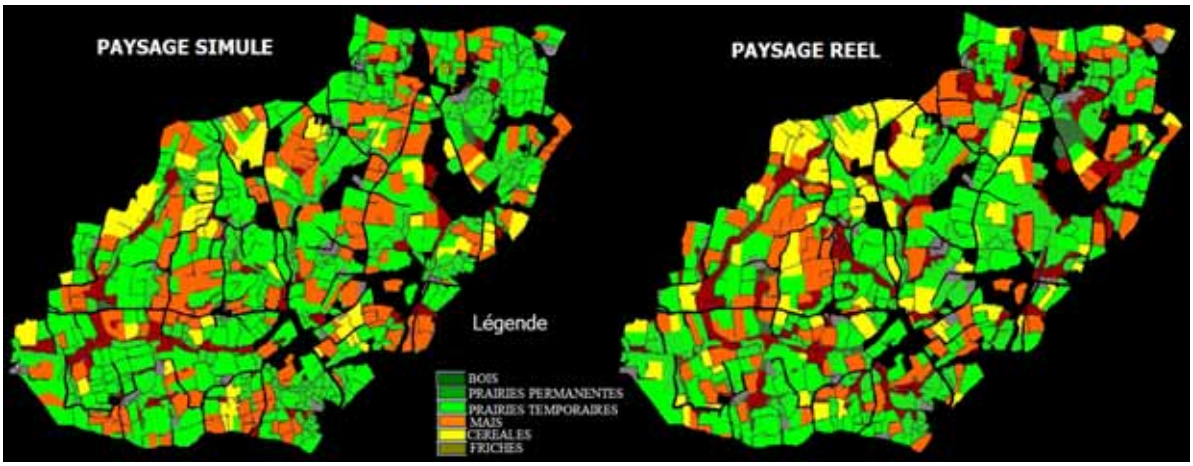


Figure 102. Comparaison « paysage simulé / paysage réel » en 1998 (*in* Houet et Gaucherel, sous presse)

Le bocage présente en 1981 et 1998 des densités respectives de 145 m/ha et 123 m/ha au format vectoriel. Le passage des données vectorielles au format raster, format des données utilisées en entrée du modèle, engendre une surestimation des densités bocagères (160 m/ha en 1981 et 141m/ha en 1998). A la fin de la simulation, le bocage atteint une densité de 145 m/ha (figure 101-b). La simulation de l'évolution de la densité bocagère est donc plausible.

La répartition des surfaces cumulées de maïs par classes de distance par rapport au réseau hydrographique (Ruiz *et al.*, 2004) donne une indication précieuse sur l'organisation du paysage. Ainsi, bien que la quantité de maïs dans le paysage simulé totalise 53 ha de plus que dans la réalité (soit 3.8% du bassin versant), la simulation permet de retrouver assez fidèlement la distribution spatiale de cette culture (figure 103). Par exemple, les surfaces en maïs observées et simulées situées dans la zone à proximité du cours d'eau (inférieure à 100 m) sont quasiment identiques (respectivement 56 ha et 60 ha). Ceci montre que le modèle prend bien en compte l'ensemble des facteurs qui font évoluer l'occupation du sol (hydromorphie, distance au siège…) afin de produire une situation réaliste et plausible.

[30] Un grand nombre de parcelles humides n'ont pas été prises en compte car l'exploitant qui est susceptible de les utiliser n'a pas été identifié.

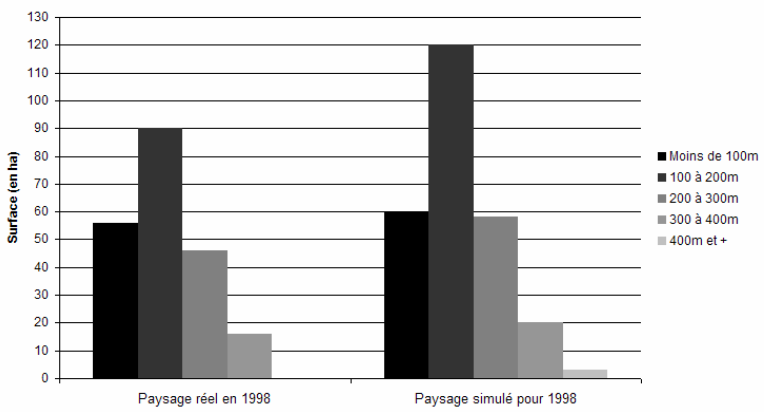


Figure 103. Comparaison « paysage simulé / paysage réel » de la répartition des surfaces cumulées de parcelles de maïs par rapport au réseau hydrographique (par classes de distances) en 1998 (*in* Houet et Gaucherel, sous presse)

➢ Une structure spatiale semblable

La comparaison du résultat de la simulation avec la situation réelle en 1998 est réalisée sur l'organisation spatiale du paysage à l'aide de deux indicateurs.

Le premier indicateur utilisé décrit la répartition de la SAU par classes de taille de parcelles. La figure 104 met en évidence que la structure spatiale du parcellaire simulé est très similaire à la structure spatiale réelle. Par exemple, la proportion de grandes (2 à 3 ha) et de très grandes (3 ha ou plus) parcelles est identique. Seules les proportions de petites (moins de 1 ha) et de moyennes parcelles (1 à 2 ha) diffèrent légèrement entre la simulation et la situation réelle. Ces différences proviennent du tirage aléatoire des parcelles à réunir et de leur taille relative au sein de chaque exploitation.

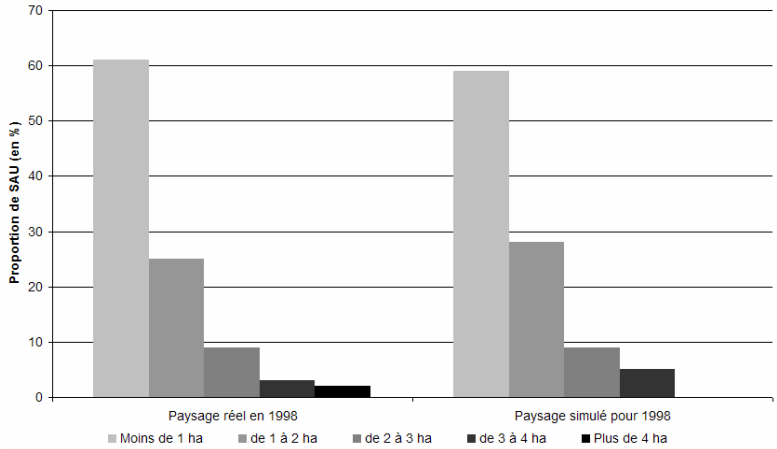


Figure 104. Comparaison « paysage simulé / paysage réel » de la répartition des parcelles par classes de taille en 1998 (*in* Houet et Gaucherel, sous presse)

Un second indicateur, dérivé du premier, présente pour chacun des systèmes de production, les proportions de SAU réparties par classe de taille de parcelles. Ceci permet de vérifier si la structure parcellaire évolue bien de façon différenciée au sein du bassin versant. La figure 105 montre que la structure spatiale issue de la simulation est proche de l'observation en 1998.

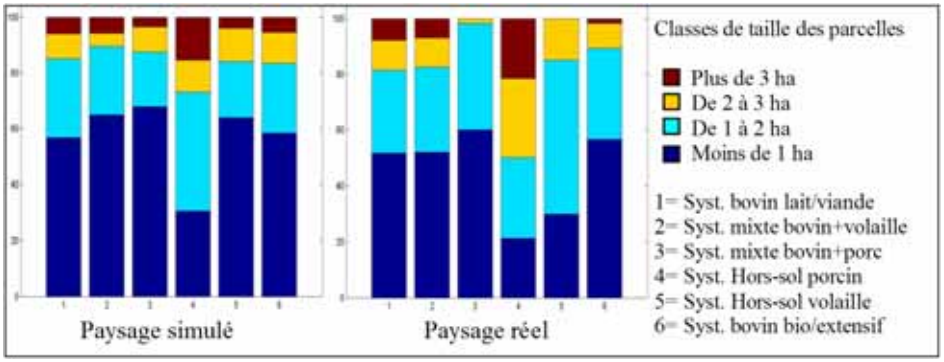


Figure 105. Comparaison des proportions de SAU simulées et observées réparties par classe de taille de parcelles pour les différents systèmes de production en 1998 (*in* Houet *et al.*, sous presse)

C'est notamment le cas pour les deux systèmes dominants (« bovin lait/viande » et « mixte bovin+volaille ») sur le bassin versant du Lestolet (25 exploitations). Par exemple, pour le système « bovin lait/viande », nous retrouvons dans la réalité 52% de petites parcelles (moins de 1 ha), 30% de parcelles de 1 à 2 ha, 10% de parcelles de 2 à 3 ha et 8% de parcelles de plus de 3 ha. Après la simulation, nous avons 57% de petites parcelles (moins de 1 ha), 28% de parcelles de 1 à 2 ha, 9% de parcelles de 2 à 3 ha et 6% de parcelles de plus de 3 ha. Les différences observées pour les autres systèmes de production proviennent de la faible représentativité statistique des exploitations agricoles. Ces différences sont légères pour le système « bovin bio/extensif » (trois exploitations) et pour le système « porcin » (une exploitation), et sensibles pour les systèmes « mixte bovin+porc » (deux exploitations) et « volaille » (une exploitation).

Les tests de sensibilité ont démontré que la plateforme L1 permet de modéliser des actions stochastiques, réalistes et maîtrisables d'un point de vue quantitatif. La comparaison entre le paysage simulé et le paysage réel en 1998 a mis en évidence un fort niveau de similitude tant pour l'organisation spatiale des composantes du paysage que pour leurs proportions respectives.

9.1.3. L'amélioration de la simulation des successions culturales avec L1

Les résultats présentés dans le paragraphe 9.1.2 ont montré que certaines améliorations pouvaient être apportées à L1. En effet, il est apparu que les successions culturales n'étaient pas adaptées pour représenter les assolements des différents systèmes de production. De nouvelles successions culturales ont alors été développées (figure 106).

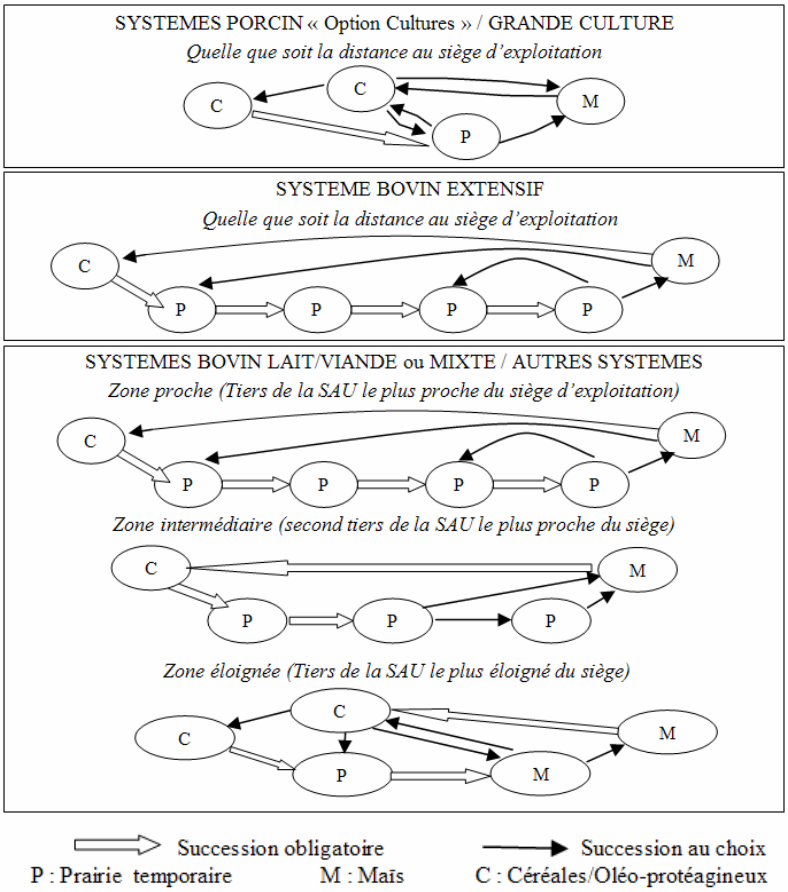


Figure 106. Amélioration des successions culturales suivant les différents systèmes de production

D'autres successions ont été modélisées sur le plan conceptuel pour les systèmes intégrant en plus une spécialisation légumière - légumes industriels - (figure 107) à l'aide des enquêtes terrain (Menasseri, 2004 ; Geslot, 2005). Ces systèmes sont présents sur le Coët-Dan. Toutefois, la plateforme L1 n'a pas été développée initialement de façon à pouvoir simuler des successions avec plus de trois cultures principales. Dès lors, les légumes seront considérés comme des céréales / oléo-protéagineux pour les exploitations concernées. L'intégration d'une quatrième culture constitue une voie d'amélioration future de L1.

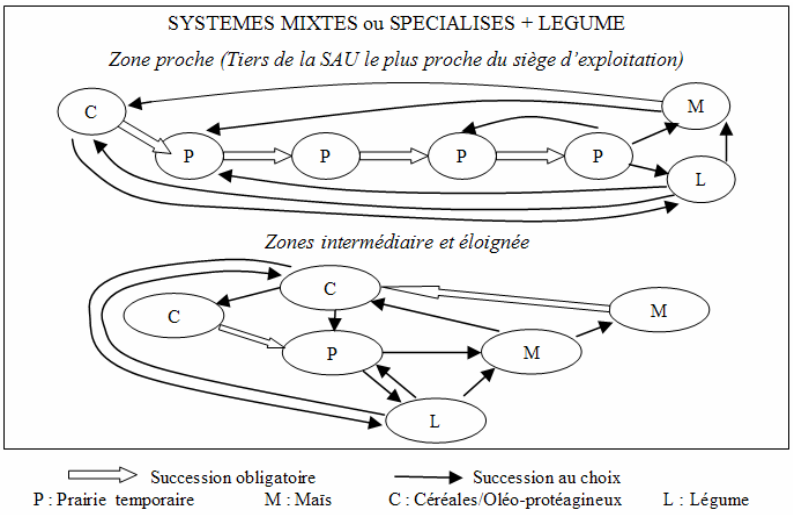


Figure 107. Successions culturales modélisées conceptuellement pour les systèmes de production intégrant un atelier « légumes industriels » dans leur production

9.2. Spatialisation des scénarios normatifs : l'utilisation des SIG

La spatialisation des scénarios normatifs nécessite un dispositif moins important que celui qui est mis en œuvre dans les scénarios exploratoires. Le principe des scénarios de type *backcasting* consiste à construire, à l'aide d'hypothèses contrastées une image du futur, à partir de laquelle le cheminement jusqu'à l'image initiale est reconstruit.

En tout état de cause, il s'agit de représenter sous une forme spatialisée ces hypothèses. Il faut donc faire appel aux méthodes de représentation spatiale d'un paysage. La dynamique entre deux images est réalisée à travers une analyse diachronique.

L'objectif étant d'avoir des images réalistes, les chorèmes et les blocs diagrammes sont inadaptées, voire trop complexe à mettre en œuvre pour ces derniers. Les SIG offrent par ailleurs l'avantage de faciliter l'échange éventuel de données avec les acteurs locaux et gestionnaires de l'eau. La construction préalable de la « base » (reconstitution des trajectoires d'évolution) à l'aide d'un SIG facilite considérablement la production de ces images : les couches d'information géographiques nécessaires (fonds parcellaire et bocager, informations attributaires …) existent déjà de sorte que les changements des modes d'occupation des sols et des structures paysagères peuvent être rapidement localisés et représentés à l'aide de requêtes attributaires et/ou spatiales.

9.3. Conclusion partielle

La gestion différenciée du temps dans la construction des scénarios exploratoires et normatifs contraint fortement les méthodes à employer pour spatialiser des scénarios prospectifs de façon réaliste à l'échelle locale.

Une plateforme de modélisation dynamique et spatialement explicite (L1) est utilisée dans le cas des scénarios de type *forecasting.* L'application développée pour la simulation d'un paysage agricole bocager à partir de la plateforme la plus adaptée pour travailler à une échelle fine sur ce type de paysage, en l'occurrence L1, n'avait pas été testée jusqu'alors sur un territoire sur lequel des données précises étaient disponibles de façon exhaustive (Gaucherel et al., 2006). La validation de l'efficacité et de la souplesse du modèle utilisé et l'évaluation de la plausibilité des résultats obtenus permettent à présent d'envisager la réalisation de scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale (Houet et Gaucherel, sous presse). Son utilisation est fondée sur le fait que la modélisation informatique des territoires des exploitations agricoles constitue un moyen pour fournir des clés de compréhension des espaces et des activités agricoles. Elle aide à informer sur les déterminants, les modalités, les effets et les conséquences de l'activité agricole confrontée aussi bien à ses propres défis qu'à ses relations avec l'environnement (Benoît *et al.*, 2005).

Dans le cas des scénarios de type *backcasting*, des outils plus simples, les SIG, suffisent pour représenter spatialement, sous forme de cartes, les *images* (initiale et future) d'un paysage agricole bocager. La dynamique est issue du *cheminement*, c'est-à-dire de l'analyse diachronique entre ces deux images, et est restituée sous forme de récits.

Si la représentation spatiale des scénarios prospectifs, par son réalisme et sa précision, offre *a priori* aux gestionnaires de l'eau et acteurs locaux la possibilité de s'approprier plus facilement les évolutions possibles d'un paysage agricole bocager, elle ne permet pas d'évaluer directement leurs conséquences potentielles ou risques sur l'environnement.

L'utilisation des images produites des modes d'occupation des sols et des structures paysagères rend possible le calcul d'un certain nombre de descripteurs ou d'utiliser des modèles distribués, et dont les résultats permettront de mesurer les impacts des changements des usages des terres sur les ressources en eau.

Conclusion

La construction de scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale vise à (1) apporter des connaissances sur les évolutions possibles des modes d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères, (2) mesurer de façon précise sur le plan quantitatif et spatial les répercussions possibles de ces évolutions sur l'environnement et (3) évaluer l'apport de ces connaissances pour les gestionnaires et les acteurs locaux.

La stratégie adoptée pour répondre à ces objectifs repose sur deux types de scénarios : des scénarios exploratoires et des scénarios normatifs.

Les scénarios exploratoires ambitionnent de mettre en évidence l'impact de facteurs de changements à venir tels que la réforme de la PAC de 2006, l'agrandissement des exploitations agricoles, ou encore l'évolution de la structure parcellaire sur l'évolution des paysages agricoles bocagers à l'horizon 2020. La construction de la « base » des scénarios a permis d'identifier les processus qui font évoluer ces paysages ainsi que l'influence que possèdent ces facteurs de changements sur ces processus. Certains de ces facteurs ont potentiellement plusieurs répercussions. Par exemple, la réforme de la PAC peut modifier plus ou moins fortement les modes de production, et notamment les assolements adoptés par un exploitant agricole. C'est pourquoi, trois stratégies contrastées d'adaptation des exploitants à cette réforme ont été estimées, permettant ainsi d'envisager et d'évaluer des incidences différenciées de la nouvelle PAC sur les modes d'occupation des sols. En revanche, d'autres facteurs induisent *a priori* une modification des types de processus qui interviennent sur certaines portions d'un territoire agricole telle que la modification des modes d'allocation des cultures après agrandissement. La construction et la spatialisation de ces scénarios reposent sur la simulation de ces processus à l'aide d'une plateforme de modélisation (plateforme L1 – Gaucherel *et al.*, 2006). Une étude comparative des plateformes et modèles de paysage existants a démontré que la plateforme L1 est la plus adaptée : elle offre l'avantage de faire évoluer le paysage de façon géométrique et attributaire, de reproduire à une échelle fine des processus d'évolution issus des décisions humaines et des forçages naturels ainsi que leurs interactions. C'est à partir de celle-ci qu'un modèle a été optimisé pour produire des simulations paysagères dynamiques et spatialement explicites de façon réaliste. L'efficacité et la souplesse du modèle et la plausibilité des processus modélisés ont été validés (Houet et Gaucherel, sous presse) de façon à produire des scénarios exploratoires spatialisés de façon maîtrisée et réaliste. Ce modèle spatio-temporel pseudo orienté objet produit à chaque itération des cartes des modes d'occupation et d'utilisation des sols et, en fin de simulation, un ensemble d'indicateurs.

Les scénarios normatifs ont pour objectif de délimiter « l'espace des possibles » et, par incidence, de mettre en évidence les enjeux portant sur les modes de gestion de l'eau. Des hypothèses contrastées des modes d'occupation des sols et des structures paysagères, déterminées de façon participative, ont permis de construire des images présentant des degrés de désirabilité extrêmes (« à atteindre » ou « à éviter »). La construction des cheminements de façon rétrospective (*backcasting*) permet d'identifier les facteurs et interactions ayant conduit à ces situations. La spatialisation des images à l'échelle locale vise alors à donner une représentation spatiale de la situation évoquée et à quantifier les changements entre les images produites. Elle s'appuie à la fois sur les connaissances et données produites sous SIG lors de la construction de la « base » mais aussi, lorsque ces scénarios sont produits en dernier, sur les connaissances issues des scénarios exploratoires.

Cette stratégie vise à éclairer les évolutions futures des modes d'occupation et d'utilisation des sols de façon spatialisée et quantifiée à l'échelle d'un territoire enclin à de forts enjeux de gestion. Les scénarios exploratoires cherchent à identifier les types et la quantité de changements issus de certains processus, les scénarios normatifs à mettre en lumière les enjeux liés à la gestion de l'eau à l'échelle locale. L'ensemble des connaissances apportées par ces scénarios prospectifs pourraient, par exemple, dans le contexte de la Directive Cadre sur l'Eau, aider les gestionnaires de l'eau à anticiper des évolutions futures ou mettre en place des moyens de gestion de l'eau durables et efficaces à l'échelle locale et à moyen ou long terme.

La dimension d'outil d'aide à la décision que revêt cette démarche prospective spatialisée impose de présenter et de mettre en débat l'ensemble des résultats issus des scénarios avec les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux. L'apport des scénarios prospectifs spatialisés, en tant qu'outil d'aide à la décision, sera évalué par ces derniers à travers un questionnaire.

PARTIE 4

LES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES, LEURS IMPACTS ET LEURS APPORTS

Introduction

La présentation et l'évaluation des scénarios prospectifs spatialisés constituent l'étape finale de toute démarche prospective. Cette étape devrait permettre d'évaluer l'intérêt de l'approche prospective spatialisée adoptée ici qui, *a priori*, permet la prise en compte d'interactions spatiales dont les conséquences potentielles sur les ressources en eau sont difficiles à mesurer par le biais d'une démarche prospective non spatialisée.

Différents types de scénarios ont été envisagés pour éclairer d'une part, l'influence de certains facteurs tels que la réforme de la PAC de 2006, l'agrandissement des exploitations agricole et les changements de la structure parcellaire sur les modes d'occupation des sols et des structures paysagères et d'autre part, les enjeux de gestion de l'eau émergeant des évolutions contrastées produites par les scénarios. Au total, onze scénarios sont projetés : huit sont fondés sur une démarche de type *forecasting* (scénarios exploratoires), trois sur une démarche de type *backcasting* (scénarios normatifs) (tableau 25).

Ces scénarios visent à apporter des connaissances différenciées et complémentaires. Pour y parvenir, un certain nombre des descripteurs sont utilisés d'une part, pour mettre en valeur et comparer, sur le plan quantitatif et spatial, les évolutions des modes d'usage des terres et d'autre part, pour évaluer les influences respectives de futurs facteurs de changements et de leurs interactions sur l'usage des sols et sur la ressource en eau en comparant plusieurs scénarios.

L'évaluation de l'apport des scénarios prospectifs spatialisés pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux à l'échelle locale est réalisée à travers l'analyse d'une enquête réalisée lors d'une réunion de restitution des résultats des scénarios.

Cette quatrième partie expose les résultats issus des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale.

Dans un premier chapitre, le chapitre 10, les scénarios exploratoires sont d'abord présentés sous forme de récits. Les influences possibles de la PAC 2006, de l'impact de l'agrandissement des exploitations agricoles et de des changements de la structure spatiale du parcellaire sur les modes d'occupation et d'utilisation des sols et les structures paysagères ainsi que leurs impacts potentiels sur les transferts de flux sont ensuite exposés.

Dans un second chapitre, le chapitre 11, les scénarios normatifs spatialisés sont présentés. Ils visent à mettre en évidence les répercussions possibles de l'interaction de certains facteurs de changement sur l'évolution des paysages agricoles bocagers étudiés, des impacts potentiels de certains types d'évolution sur l'environnement, et des moyens à mettre en œuvre pour une gestion durable de l'eau.

Dans un troisième et dernier chapitre, le chapitre 12, l'évaluation des scénarios prospectifs spatialisés par les gestionnaires de l'eau et acteurs locaux est abordée à travers l'analyse d'un questionnaire rempli lors d'une réunion participative.

Type de scénario	Scénario	Commentaires		Objectifs (Site(s) d'application)	Scénarios utilisés
Exploratoire	*Scénario 1*	Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 : « Pas de changement », les exploitations sont reprises par un jeune agriculteur lors d'un départ à la retraite.		1. Evaluer l'influence de la PAC 2006 sur l'évolution des modes d'occupation des sols et de leurs impacts potentiels sur les ressources en eau (Lestolet, Coët-Dan et Stang Varric)	1, 2 et 3
	Scénario 2	Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 : « Option Herbe », les exploitations sont reprises par un jeune agriculteur lors d'un départ à la retraite.			
	Scénario 3	Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 : « Option Céréales », les exploitations sont reprises par un jeune agriculteur lors d'un départ à la retraite.			
	Scénario 4	Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 : « Pas de changement », les exploitations sont reprises par un jeune agriculteur lorsqu'il est connu ou par un exploitant voisin lors d'un départ à la retraite.		2. Mesurer l'influence de l'évolution des exploitations agricoles (agrandissement, assolement) sur les modes d'occupation des sols et les structures paysagères et leurs incidences possibles sur les ressources en eau (Lestolet)	1, 2, 3, 4, 5 et 6
	Scénario 6	Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 : « Option Céréales », les exploitations sont reprises par un jeune agriculteur lorsqu'il est connu ou par un exploitant voisin lors d'un départ à la retraite.			
	Scénario 5	Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 : « Option Herbe », les exploitations sont reprises par un jeune agriculteur lorsqu'il est connu ou par un exploitant voisin lors d'un départ à la retraite.		3. Evaluer l'influence des changements de la structure foncière sur les modes d'occupation des sols et les structures paysagères et leurs impacts sur les transferts de flux (Lestolet)	5, 7 et 8
	Scénario 7	Scénario 5 + agrandissement parcelle suivant la poursuite de la tendance 1981-1999			
	Scénario 8	Scénario 7 + restauration des haies de ceinture par les gestionnaires de l'eau			
Normatif	*Scénario A*	« Gestion fonctionnelle et durable du Lestolet par les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau »		4. « Délimiter » la gamme des futurs possibles ; identifier des moyens de gestion durable de l'eau et les conditions nécessaires à leur efficacité ; évaluer les impacts possibles de ces évolutions (Lestolet)	A, B et C
	Scénario B	« De l'intensification de l'agriculture et de la gestion minimale des zones humides de fonds de vallées »			
	Scénario C	« Le Lestolet un espace privatisé à vocation non-agricole »			

Tableau 25. Tableau de synthèse des scénarios prospectifs spatialisés réalisés

CHAPITRE 10 - Les scénarios prospectifs exploratoires spatialisés à l'échelle locale

Les résultats de scénarios exploratoires sont constitués par des récits, des images et des descripteurs. La spatialisation des scénarios exploratoires est réalisée à l'aide de la plateforme de modélisation L1 qui permet de simuler de façon vraisemblable et cohérente des évolutions de l'occupation des sols et des structures paysagères (chapitre 9).

La comparaison des scénarios exploratoires spatialisés vise à mettre en évidence l'influence de la réforme de la PAC entrant en vigueur en 2006, de l'agrandissement des exploitations agricoles et des modifications de la structure parcellaire sur les changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols. Des descripteurs, issus des images produites, permettent d'évaluer l'impact potentiel de ces changements sur les ressources en eau.

Les scénarios exploratoires sont présentés dans un premier temps sous la forme de récits. Dans un second temps, les résultats liés à l'influence de la PAC 2006 et de l'agrandissement des exploitations agricoles sont successivement présentés. Dans un dernier temps, l'impact potentiel de l'évolution de la structure bocagère sur les transferts de flux est exposé.

10.1. Les récits des scénarios prospectifs exploratoires

Les scénarios exploratoires présentés ci-après sous la forme de récits exposent l'évolution du contexte socio-économique et foncier des territoires étudiés à l'horizon 2020.

10.1.1. La réforme de la PAC de 2006 : trois scénarios possibles

Trois scénarios sont réalisés pour chacun des sites d'étude, répondant à trois stratégies d'adaptation à la PAC 2006. L'objectif étant d'évaluer les incidences des hypothèses les plus contrastées possibles sur l'évolution des modes d'occupation des sols, chacun des trois scénarios envisage l'adoption unanime des exploitants agricoles à l'une de ces stratégies. Au final, la comparaison des résultats devrait permettre d'une part d'envisager les conséquences de situations les plus contrastées possibles et d'autre part de replacer l'évolution actuelle par rapport à ces évolutions contrastées.

10.1.1.1. Le scénario 1 ou le scénario « business as usual »

Suite à la mise en application de la réforme de la PAC en 2006, les incertitudes face aux nouveaux modes de calculs des primes PAC rendent les agriculteurs frileux. En conséquence, ces derniers n'envisagent pas de faire évoluer leur système de production et par corollaire leur assolement. Au final, aucun exploitant ne change de système d'exploitation après la PAC 2006. Sur l'ensemble des sites d'études étudiés, les exploitants sont relativement jeunes. Les quelques exploitants qui cessent leur activité entre 1998 et 2020 trouvent des repreneurs : les aides aux installations et la structure juridique des GAEC permettent de combler les départs à la retraite par l'arrivée de jeunes agriculteurs. La taille des exploitations n'évolue pas durant cette période.

10.1.1.2. Le scénario 2 : la PAC favorable à l'herbe

Suite à la mise en application de la réforme de la PAC en 2006 et face aux projections pessimistes des prix du blé, les agriculteurs restent dubitatifs. Les chambres d'agriculture et autres organismes de conseils agricoles lancent une importante campagne de communication portant sur l'opportunité qu'offre le nouveau système d'attribution des primes PAC. L'implantation d'herbe à la place du blé est une opération rentable (moins de coûts de traitement, arrêt de location de matériels agricoles ou de recours à des ETA pour les semis et les récoltes), d'autant que les exploitants disposent déjà du matériel nécessaire à la gestion minimale des surfaces en herbe (fauche annuelle). Ils gagnent aussi beaucoup de temps libre, exigence qui devient de plus en plus forte dans la profession. Leur réaction est immédiate : ils font évoluer leur système de production vers un système à dominante herbagère et par corollaire leur assolement. Les initiatives individuelles sont nombreuses, et la diffusion de l'information « par-dessus le talus » participe grandement à la diffusion de cette stratégie d'adaptation. Au final, l'ensemble des exploitants change leur système de production après la PAC 2006. Sur l'ensemble des sites d'études étudiés, les exploitants sont relativement jeunes. Les quelques exploitants qui cessent leur activité entre 1998 et 2020 trouvent des repreneurs : les aides aux installations et la structure juridique des GAEC permettent de combler les départs à la retraite par l'arrivée de jeunes agriculteurs. La taille des exploitations n'évolue pas durant cette période.

10.1.1.3. Le scénario 3 : la PAC favorable aux cultures

Suite à la mise en application de la réforme de la PAC en 2006, les incertitudes face aux nouveaux modes de calculs des aides de la PAC incitent les agriculteurs à implanter en priorité légèrement plus de céréales (+5%), afin d'assurer l'obtention des aides « grandes cultures ». Ils cherchent à améliorer leur revenu en produisant leur quota *via* l'augmentation de la production par vache. La réduction du cheptel engendrée permet d'augmenter la part relative de maïs fourrager par vache, de sorte que la part de maïs dans l'assolement évolue peu. L'adhésion à cette stratégie d'adaptation est forte et la diffusion de l'information « par-dessus le talus » finit de convaincre les derniers réticents. Sur l'ensemble des sites d'études étudiés, les exploitants sont relativement jeunes. Les quelques exploitants qui cessent leur activité entre 1998 et 2020 trouvent des repreneurs : les aides aux installations et la structure juridique des GAEC permettent de combler les départs à la retraite combler par l'arrivée de jeunes agriculteurs. La taille des exploitations n'évolue pas durant cette période.

10.1.2. L'agrandissement des exploitations agricoles : un scénario pour chaque stratégie d'adaptation à la réforme de la PAC de 2006

Trois autres scénarios, (4, 5 et 6), fondés sur les mêmes hypothèses de stratégies d'adaptation à la PAC 2006 que les scénarios 1, 2 et 3, mais différents des trois premiers sur le plan de l'agrandissement des exploitations agricoles, ont été élaborés. Ils seront comparés ultérieurement avec les scénarios 1, 2 et 3.

10.1.2.1. Le scénario 4 : la stratégie « business as usual » et l'agrandissement des exploitations

Le scénario 4 reprend intégralement le scénario 1, exception faite de l'agrandissement des exploitations qui suit l'évolution présentée dans le paragraphe 8.2.1.3. (p. 204).

10.1.2.2. Le scénario 5 : la PAC favorable à l'herbe et l'agrandissement des exploitations

Le scénario 5 reprend intégralement le scénario 2, exception faite de l'agrandissement des exploitations qui suit l'évolution présentée dans le paragraphe 8.2.1.3. (p. 204).

10.1.2.3. Le scénario 6 : la PAC favorable aux cultures et l'agrandissement des exploitations

Le scénario 6 reprend intégralement le scénario 3, exception faite de l'agrandissement des exploitations qui suit l'évolution présentée dans le paragraphe 8.2.1.3. (p. 204).

10.1.3. Les changements de la structure spatiale du parcellaire : un scénario de référence et deux variantes

L'évaluation des changements des modes d'occupation des sols et des structures paysagères sur les transferts de flux nécessite de prendre en compte non seulement la réforme de la PAC 2006, l'agrandissement des exploitations, mais aussi les changements de la structure du parcellaire agricole (agrandissement des parcelles, évolution de la trame bocagère). En effet, l'accroissement de la taille des exploitations s'accompagne tendanciellement d'une augmentation de la taille des parcelles et de l'arasement de haies. De même, des actions de restauration du bocage peuvent modifier cette structure foncière.

Trois scénarios d'évolution de la structure du parcellaire et de la trame bocagère sont réalisés et comparés. Le scénario de référence est le scénario 5 décrit précédemment. Le choix de ce scénario s'explique par : le risque de contamination des eaux de sub-surface lié à la fertilisation des surfaces en herbe (prairie+ trèfle blanc) évoqué dans le paragraphe 1.1.2.2.2 (p. 35), qui est souvent négligé et nécessite d'être évalué au même titre que le risqué lié au maïs ; les structures des exploitations (mises aux normes effectuées, grande taille, …) peuvent être favorable au choix de la stratégie 2 illustrée par le scénario 5.

Le scénario suivant (scénario 7) se base sur le scénario 5 et vise à reproduire la tendance passée de l'agrandissement du parcellaire par la réunion de parcelles. Enfin le dernier scénario (scénario 8) reprend le scénario 7 et simule en plus la restauration des haies de ceinture de fonds de vallées. Les scénarios 7 et 8 sont décrits ci-après.

10.1.3.1. Le scénario 7 : la PAC favorable à l'herbe, l'agrandissement des exploitations et du parcellaire agricole

Suite à la mise en application de la réforme de la PAC en 2006 et face aux projections pessimistes des prix du blé, les agriculteurs restent dubitatifs. Les chambres d'agriculture et autres organismes de conseils agricoles lancent une importante campagne de communication portant sur l'opportunité qu'offre le nouveau système d'attribution des primes PAC. L'implantation d'herbe à la place du blé est une opération rentable (moins de coûts de traitement, arrêt de location de matériels agricoles ou de recours à des ETA pour les semis et les récoltes), d'autant plus que les exploitants disposent déjà du matériel nécessaire à la gestion minimale des surfaces en herbe (fauche annuelle). Ils gagnent aussi beaucoup de temps libre, exigence qui devient de plus en plus forte dans la profession. Leur réaction est immédiate : ils font évoluer leur système de production et par corollaire leur assolement. Les initiatives individuelles sont nombreuses, et la diffusion de l'information « par-dessus le talus » participe grandement à la diffusion de cette stratégie d'adaptation. Au final, l'ensemble des exploitants change leur système de production après la PAC 2006. [L'agrandissement des exploitations se fait suivant l'hypothèse émise dans le paragraphe 8.2.1.2., reprise dans les scénarios 4, 5 et 6] La reprise des exploitations augmente considérablement la charge de travail. L'agrandissement du parcellaire se poursuit de façon à simplifier le travail de semis et de récolte. Le regroupement de deux parcelles, souvent éloignées du siège et de petite ou moyenne taille, peut engendrer l'arasement de la haie située entre ces parcelles, permettant ainsi d'alléger substantiellement le temps nécessaire à la gestion du bocage qui constitue une contrainte de plus en plus importante. L'arasement de haies étant interdit, les initiatives individuelles portent sur des haies préférentiellement situées au sein d'îlots de parcelles ou qui ne se localisent pas en limite d'exploitation ni en bordure des routes. L'agrandissement du parcellaire poursuit la tendance de l'évolution observée entre 1981 et 1998.

10.1.3.2. Le scénario 8 : la PAC favorable à l'herbe, l'agrandissement des exploitations et du parcellaire agricole et la restauration des haies de ceinture par les gestionnaires de l'eau

En 2006, suite à l'étude diagnostique menée par le syndicat mixte de Kerné Uhel sur le bocage et les zones humides, des actions volontaristes de restauration des haies de ceinture de fonds de vallées sont réalisées dans le cadre du programme Bretagne Eau Pure 3. Des haies sont implantées entre des prairies permanentes ou des friches situées en zone humide et des parcelles non humides. La protection vis-à-vis des transferts de flux de surface est alors maximale.
La même année, la réforme de la PAC est mise en application. Face aux projections pessimistes des prix du blé, … [La suite du scénario correspond au scénario 7.]

10.2. La réforme de la PAC de 2006 : influence sur l'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols et impacts potentiels sur les ressources en eau

La nouvelle réforme de la PAC qui prend effet en 2006 peut engendrer des incidences différenciées sur les systèmes de production, à travers différentes stratégies possibles d'adaptation à cette réforme (cf. § 8.2.1.1.), modifiant de façons contrastées les assolements. L'influence de ces stratégies est évaluée à l'aide de simulations réalisées grâce à la plateforme L1. Après avoir succinctement présenté les évolutions d'occupation et d'utilisation des sols issues des scénarios exploratoires, leurs impacts sur la ressource en eau sont analysés pour chacun des trois bassins versants étudiés.

10.2.1. Résultats sur le bassin versant du Lestolet

Les répercussions des scénarios 1, 2 et 3 sur l'évolution des modes d'occupation des sols et, par incidence, sur les risques potentiels vis-à-vis des ressources en eau sont présentées ci-après pour le bassin versant du Lestolet.

10.2.1.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols

La plateforme L1 produit une cartographie annuelle des types d'occupation et d'utilisation des sols à partir desquelles sont calculées les proportions des principales classes d'occupation des sols à l'échelle du bassin versant[31].

Rappelons qu'entre 1997 et 1999, les proportions de prairies, maïs et de céréales (blé/protéagineux) étaient respectivement de 44%, 17.5% et 7.5% en moyenne par rapport à la surface totale du bassin versant ; En 1998, année de référence, ces proportions atteignaient respectivement 47%, 16% et 6%.

Dans le scénario 1 (figure 109), les cultures occupent des zones préférentielles au sein du bassin versant sur l'ensemble de la période, même si la distribution de certaines parcelles reste assez éclatée. Au final, en 2020, les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont respectivement de 43.9%, 17.5% et 7.7%. Elles fluctuent après la PAC 2006 entre 37.8 et 46.1% pour les prairies, 15.5 et 20% pour le maïs et 5.7 et 10.7% pour les céréales (figure 108). Pour bien appréhender les changements qui interviennent sur un bassin versant, il convient de tenir compte de l'organisation spatiale des exploitations agricoles présentée dans le paragraphe 4.2.1. (figure 42 p. 105).

[31] La plateforme produit aussi une animation vidéo de l'évolution des modes d'occupation des sols.

Dans le scénario 2 (figure 109), avant 2006, les cultures occupent les mêmes zones que dans le scénario 1. Après 2006, seul le maïs est présent dans ces zones, les céréales ayant quasiment totalement disparu. Seules quelques parcelles dont l'exploitant n'a pas été identifié et qui représentent 3% de la superficie du bassin versant, sont restées inchangées (notamment les parcelles de céréales) et n'ont pas été prises en compte dans le processus de simulation. Au final, avant 2006, les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont, à l'échelle du bassin versant, respectivement de 43.9%, 17.5% et 7.7%. Après 2006, elles sont en moyenne de 52.3%, 13.8% et 2.2%. Elles fluctuent entre 50.8 et 53.8% pour les prairies, 11.6 et 16.1% pour le maïs et 1.4 et 3.6% pour les céréales (figure 108).

Dans le scénario 3 (figure 109), les cultures occupent toujours les mêmes zones au sein du bassin versant sur l'ensemble de la période, même si la distribution de certaines parcelles reste assez éclatée. Au final, avant 2006, les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont respectivement de 43.9%, 17.5% et 7.7% avant 2006. Elles sont de 44.9%, 12.2% et 11.3% après 2006, fluctuant entre 38.8 et 49.6% pour les prairies, 8.3% et 15.5% pour le maïs et 8.4 et 15.7% pour les céréales (figure 108).

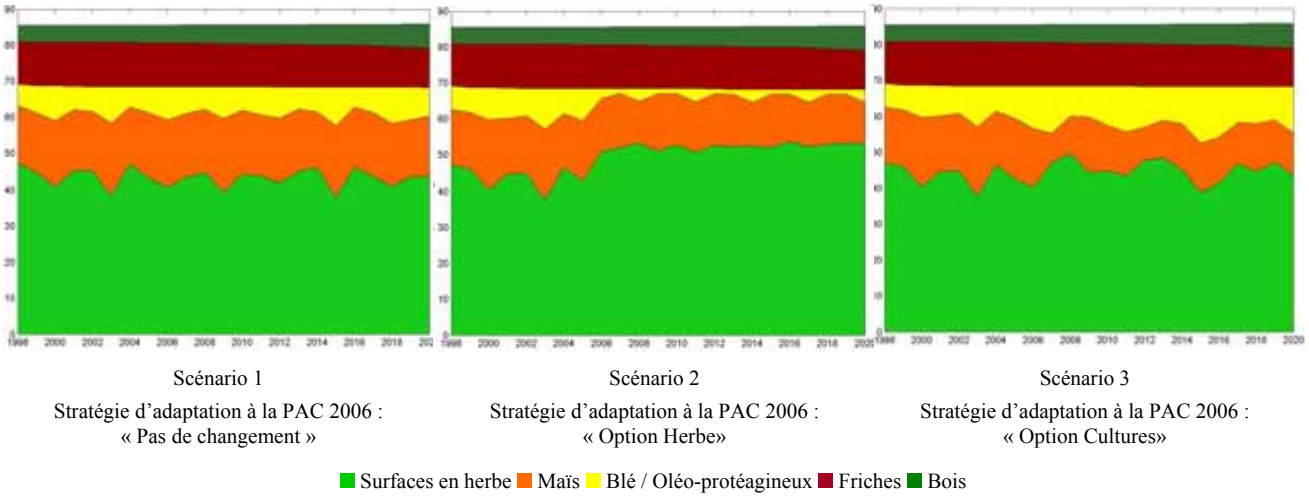


Figure 108. Evolution des proportions des types d'occupation des sols à l'échelle du bassin versant du Lestolet entre 1998 et 2020 pour les scénarios 1, 2 et 3

Conformément à la stratégie d'adaptation adoptée, les proportions en prairies restent stables dans le scénario 1 et augmentent fortement dans le scénario 2. Dans le cas du scénario 3, l'évolution des céréales est bien visible. Toutefois, étant donné que la priorité est l'obtention des primes « grandes cultures », cette augmentation se fait plutôt au détriment du maïs que de l'herbe. Ceci résulte des successions culturales : afin d'atteindre la proportion désirée de céréales, des successions « maïs/céréales » et « céréales/céréales » sont privilégiées au détriment respectivement des successions « maïs/maïs » et « céréales/prairies » dans la zone éloignée des exploitations ayant un système « Bovin lait/viande », « Mixte » ou autre (cf. figure 106 p. 232). La légère baisse de la base minimale de maïs nécessaire à l'alimentation du cheptel bovin est compensée par la réduction du cheptel laitier et l'augmentation de la production laitière par vache.

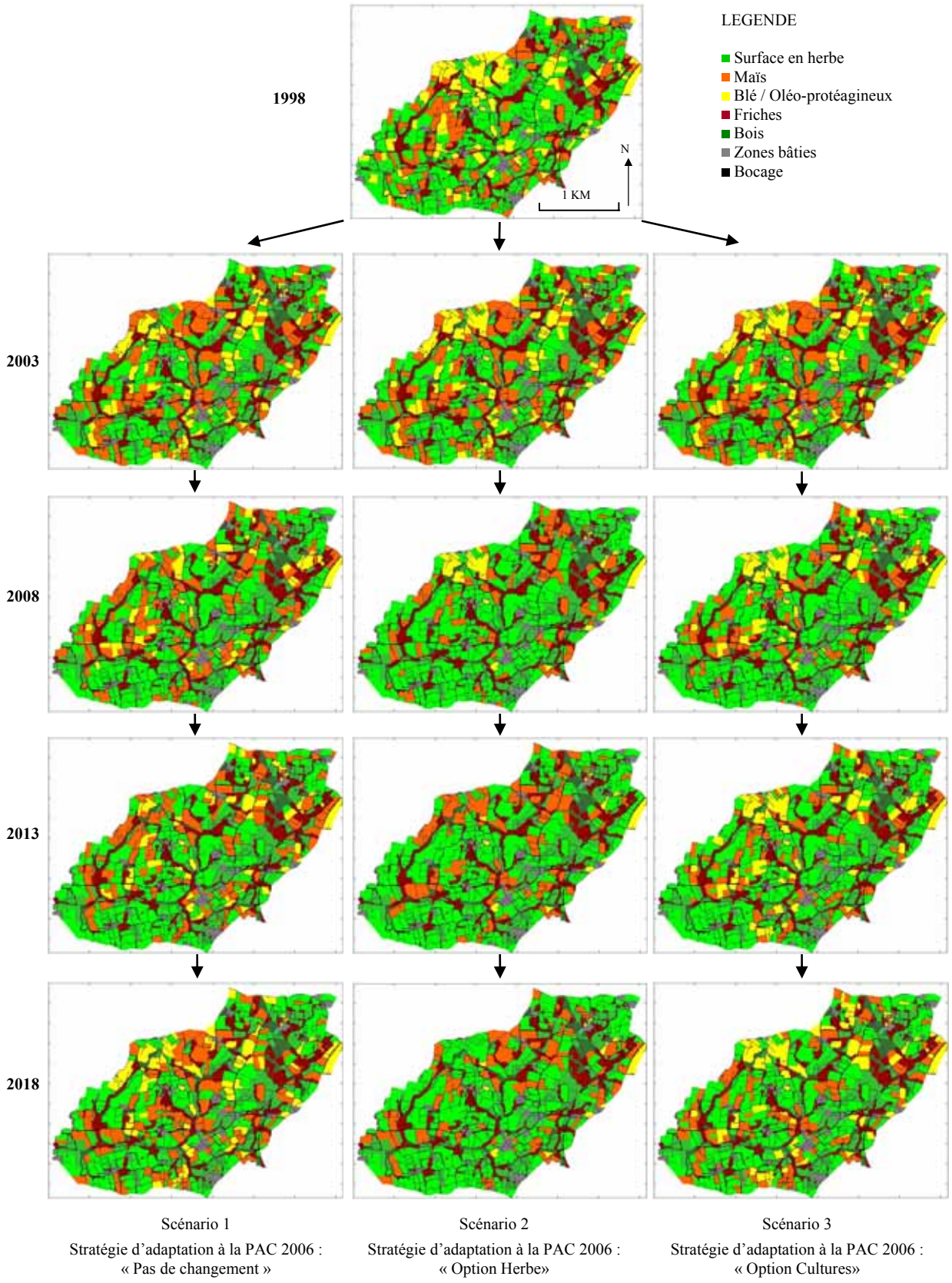


Figure 109. Evolution spatialisée des modes d'occupation et d'utilisation des sols pour les scénarios 1, 2 et 3 sur le bassin versant du Lestolet entre 1998 et 2018 (seules quelques cartographies également espacées dans le temps sont présentées, la simulation produisant en réalité une cartographie annuelle)

10.2.1.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides

L'évolution des types d'occupation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées n'a pas pu être évaluée sur la totalité des parcelles humides. Seulement 60% des parcelles, dont les exploitants susceptibles de les utiliser sont connus, ont été prises en compte dans la simulation. Par conséquent, les résultats obtenus sont partiels.

Les trois scénarios témoignent du prolongement de la tendance à la fermeture des zones humides. En 2020, à peine plus de 10% de la zone humide du Lestolet demeuraient en prairies permanentes. Les différentes stratégies d'adaptation à la PAC 2006 influent peu sur la vitesse de fermeture comme le montre le tableau 26. La stratégie « Option Herbe » (scénario 2) tend toutefois à ralentir légèrement leur fermeture avec plus de prairies que dans le cas du scénario 1 et moins de bois que dans le cas du scénario 3.

	1998	2020		
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Prairies permanentes	36	24	25	25
Friches	125	117	115	114
Bois	59	79	80	81
Total	220	220	220	220

Tableau 26. Evolution des superficies (en ha) des types d'occupation et d'utilisation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées pour les scénarios 1, 2 et 3 sur le Lestolet entre 1998 et 2020

10.2.1.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs

La surface potentielle en maïs, correspondant au cumul de la surface des parcelles recevant au moins une fois du maïs sur la période de simulation diffère suivant les stratégies d'adaptation à la PAC 2006. Selon les scénarios 1, 2 et 3, elle est respectivement de 642 ha, 594 ha et 661 ha. L'évolution de la part de céréales dans l'assolement semble influencer l'évolution de la surface potentielle totale en maïs. D'après les successions culturales modélisées, cela s'explique par le fait que, dans certains cas, un blé est implanté uniquement après un maïs. Par conséquent, l'implantation de maïs s'effectue sur un plus grand nombre de parcelles, mais uniquement sur une année afin d'augmenter le nombre et la fréquence de parcelles en blé.

La figure 110 localise les parcelles et îlots de parcelles présentant une fréquence de retour faible (moins d'une année sur trois, c'est-à-dire 7 occurrences), élevée (une année sur deux, soit 11 occurrences) et très élevée (deux années sur trois, soit 15 occurrences) pour les trois scénarios.

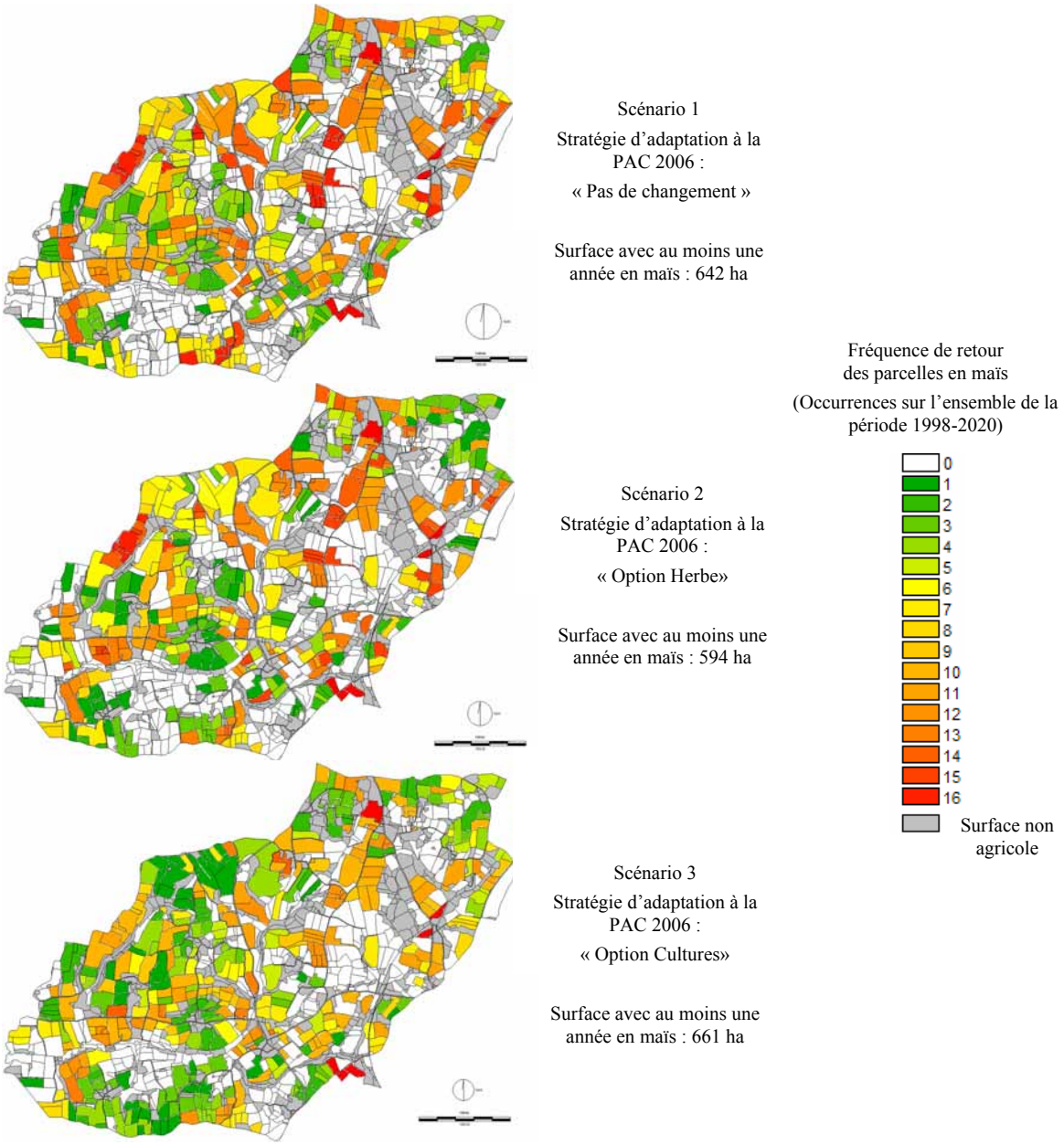


Figure 110. Cartes des occurrences en maïs des parcelles du Lestolet sur la période 1998-2020 pour les scénarios 1, 2 et 3

La comparaison des scénarios 1 et 2 montre une baisse peu prononcée de la fréquence de retour en maïs pour certaines parcelles ou îlots de parcelles (1 à 3 occurrences en moins en 22 ans).

La comparaison des scénarios 1 et 3 montre une baisse sensible de la fréquence de retour en maïs pour l'ensemble des parcelles ou îlots de parcelles, et plus particulièrement pour les parcelles présentant une forte fréquence de retour dans le scénario 1 (3 à 5 occurrences en moins en 22 ans). Cette baisse est par endroit encore plus forte, par exemple dans le centre-nord du bassin versant où deux îlots de parcelles sont passés de 10 et 13 occurrences à 1 et 4 occurrences après adoption de la stratégie « Option Céréales ». La baisse de la fréquence de retour en maïs est compensée par l'augmentation de la fréquence de retour en céréales.

La figure 111 montre la répartition de la surface potentielle totale en maïs suivant une fréquence de retour définie pour chacun des scénarios étudiés. Par exemple, pour le scénario 1, c'est près de 70% de la surface potentielle en maïs qui présente une fréquence de retour d'au moins une année sur trois.

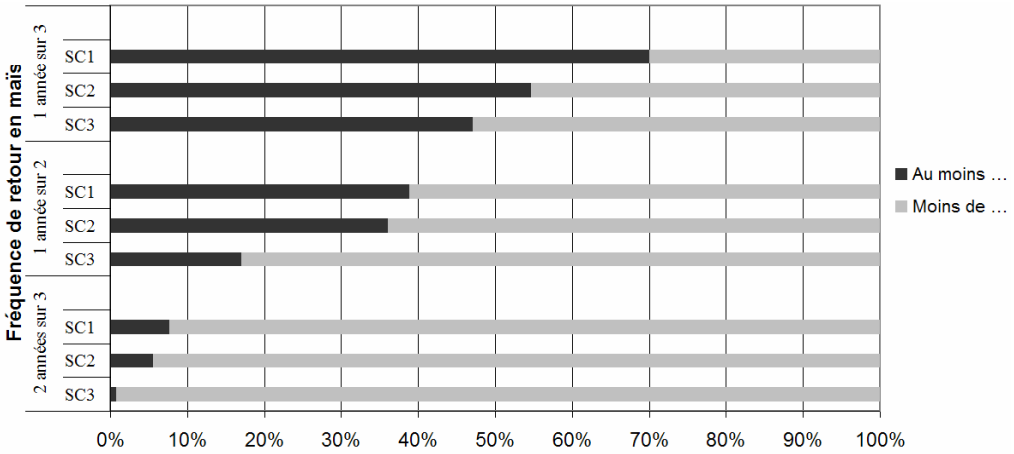


Figure 111. Proportions de surface potentielle en maïs sujette à recevoir une fréquence de retour définie pour les scénarios 1, 2 et 3 pour le bassin versant du Lestolet sur la période 1998-2020 (SC1 : scénario 1 ; SC2 : scénario 2 ; SC3 : scénario 3)

La comparaison des scénarios 1 et 2 montre que la stratégie « Option Herbe » tend à faire fortement baisser la proportion de surface potentielle en maïs à faible fréquence de retour. Dans le scénario 1, elle représente 70% de la surface concernée, soit 449 ha alors qu'elle ne représente plus que 54% de la surface concernée dans le scénario 2, soit 321 ha. Une baisse s'observe également pour les fréquences élevées et très élevées. La surface concernée passe de 244 ha avec au moins une année sur deux en maïs dans le scénario 1 contre 214 ha pour le scénario 2).

La comparaison des trois scénarios montre que la stratégie « Option Céréales » tend à faire plus fortement baisser la proportion de surface potentielle totale en maïs à faible fréquence de retour pour les scénarios 1 et 3 que pour le scénario 2. C'est encore plus vrai pour les fréquences de retour élevées et très élevées. Dans le scénario 3, 47% de la surface concernée (soit 310 ha) reçoit du maïs au moins une année sur trois et 17% une année sur deux (soit 112 ha). Il n'y a quasiment plus de parcelles qui reçoivent de maïs au moins 2 années sur 3.

La stratégie « Option Herbe » fait baisser la fréquence de retour en maïs pour l'ensemble des parcelles. Cela est plus marqué pour les parcelles concernées par une faible fréquence de retour. Cette stratégie réduit aussi de façon importante la surface potentielle en maïs (-48 ha), réduisant d'autant les risques potentiels liées à la culture du maïs.

La stratégie « Option Céréales » possède une incidence plus marquée sur les fréquences de retour en maïs que le scénario 2. L'implantation en priorité des céréales incite donc à répartir le maïs sur un plus grand nombre de parcelles avec des fréquences de retour plus faibles afin d'optimiser le nombre et la fréquence de parcelles en blé.

10.2.1.4. L'impact des scénarios sur la distribution spatiale du maïs par rapport au cours d'eau

En 2020, la quantité de maïs sur le bassin versant du Lestolet est plus importante pour le scénario 1 (224 ha) que pour les scénarios 2 et 3 (152 et 155 ha). Elle est aussi légèrement supérieure à celle de 1998 (197 ha).

La distribution spatiale du maïs en 2020 pour le scénario 1 est similaire à celle de 1998 (figure 112). Il y a la même quantité de maïs dans les 200 premiers mètres. Les 27 hectares de différence se localisent au-delà de 200 m du cours d'eau.

Par comparaison avec le scénario 1, les scénarios 2 et 3 montrent une quantité similaire de maïs dans les 100 premiers mètres. Au-delà de 100m du cours d'eau, la baisse est significative : environ -25 à -30 ha à une distance comprise entre 100 et 200 m du cours d'eau et -15 et -25 ha entre 200 et 300 m.

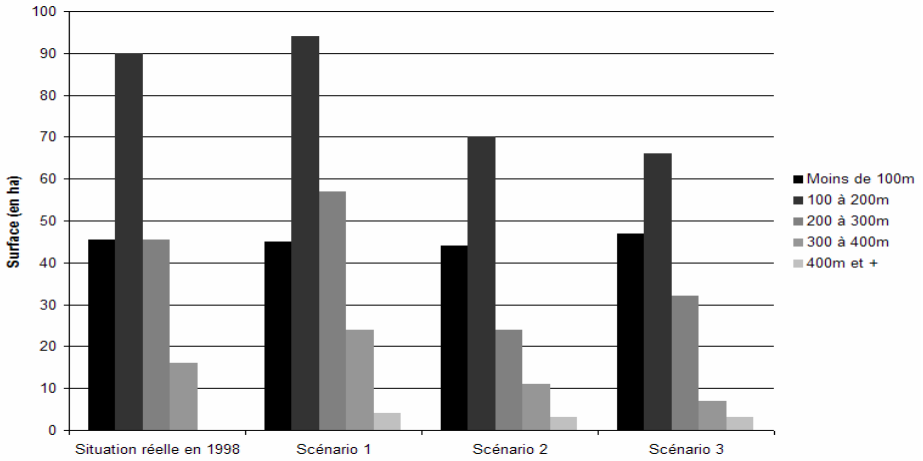


Figure 112. Surfaces cumulées en maïs par classes de distance au cours d'eau en 2020 sur le Lestolet pour les scénarios 1, 2 et 3

Ainsi, la mise en place de la PAC 2006 n'a aucune influence sur le risque potentiel lié au maïs dans la zone la plus proche du cours d'eau (moins de 100m). Les stratégies « Option Herbe » et « Option Céréales » se démarquent vis-à-vis du risque potentiel lié au maïs situé dans une zone comprise entre 100 et 300 m du cours d'eau, et au-delà.

10.2.2. Résultats sur le bassin versant du Coët-Dan

Les répercussions des scénarios 1, 2 et 3 sur l'évolution des modes d'occupation des sols et, par incidence, sur les risques potentiels vis-à-vis des ressources en eau sont présentées ci-après pour le bassin versant du Coët-Dan. Etant donné que les données spatiales des exploitations agricoles de 1999 ne sont pas connues, les simulations utilisent celles de 2005 présentées dans le paragraphe 4.2.2. (figure 44 p. 107). Il est supposé que les exploitations n'ont pas évolué entre ces deux dates.

10.2.2.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols

En 1999, les proportions de prairies, maïs et de céréales (blé / oléo-protéagineux) étaient respectivement de 23.7%, 21.9% et 37,5% par rapport à la surface totale du Coët-Dan.

Pour bien appréhender les changements qui interviennent sur un bassin versant, il convient de tenir compte de l'organisation spatiale des exploitations agricoles présentée dans le paragraphe 4.2.2. (figure 44 p. 107).

Dans le scénario 1 (figure 114), les cultures occupent la majeure partie du bassin versant sur l'ensemble de la période. Quelques îlots de surface en herbe se distinguent. Au final, les proportions moyennes sont proches de la situation initiale : 23.4% de prairies, 23.5% de maïs et 36.2% de céréales. Après la PAC 2006, elles fluctuent entre 20.2 et 25.8% pour les prairies, 16.5 et 29.7% pour le maïs et 28.7 et 42.6% pour les céréales (figure 113).

Dans le scénario 2 (figure 114), avant 2006, les cultures occupent l'ensemble du bassin versant à l'exception de quelques îlots de surface en herbe. Après 2006, de nouveaux îlots de surfaces en herbe apparaissent notamment dans la partie centrale, au Sud du bassin versant. Les céréales sont encore très présentes en raison de la présence de nombreuses exploitations produisant leur alimentation à la ferme. Les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont, respectivement de 23.3%, 24% et 35.9% avant 2006. Après 2006, elles sont de 31%, 20.2% et 31.5% et fluctuent entre 25.5 et 34.8% pour les prairies, 14.4 et 27.4% pour le maïs et 27.4 et 34.8% pour les céréales (figure 113).

Dans le scénario 3 (figure 114), les cultures occupent les mêmes zones au sein du bassin versant que dans le scénario 1. Les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont, avant 2006, respectivement de 23.3%, 24% et 35.9%. Après 2006, elles sont de 21.6%, 22.2% et 39% et fluctuent entre 18.9 et 23.9% pour les prairies, 16.7 et 28.7% pour le maïs et 33.6 et 46.9% pour les céréales (figure 113).

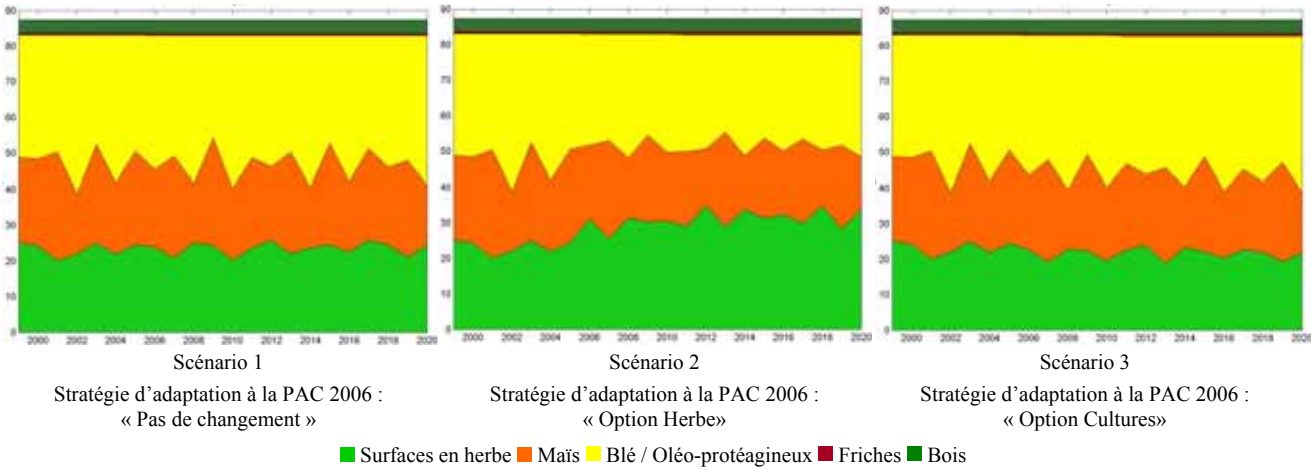


Figure 113. Evolution des proportions des types d'occupation des sols à l'échelle du bassin versant du Coët-Dan entre 1999 et 2020 pour les scénarios 1, 2 et 3

Conformément à chaque stratégie d'adaptation à la PAC 2006 adoptée, les proportions en prairies restent stables dans le scénario 1, augmentent fortement dans le scénario 2. Dans le cas du scénario 3, la part des céréales augmente tendanciellement de façon non négligeable.

Comparativement au scénario 1, la stratégie « Option Herbe » augmente à l'échelle du bassin versant la part moyenne en herbe de 6.7 points, au détriment des céréales et du maïs. La baisse de la part du maïs s'explique à la fois par les fluctuations liées aux successions culturales et par l'adoption de nouvelles successions.

Comparativement au scénario 1, la stratégie « Option Céréales » augmente la part moyenne en céréales de 4.1 points essentiellement au détriment du maïs et, dans une moindre mesure, des prairies. La baisse de la part du maïs s'explique, d'une part, par la stabilité de la surface en herbe liée à la présence de 2 exploitations de type « extensif » et, d'autre part, par l'adoption de nouvelles successions qui privilégient l'implantation de céréales. L'objectif poursuivi est d'assurer l'obtention des primes « grandes cultures » pour les exploitations concernées.

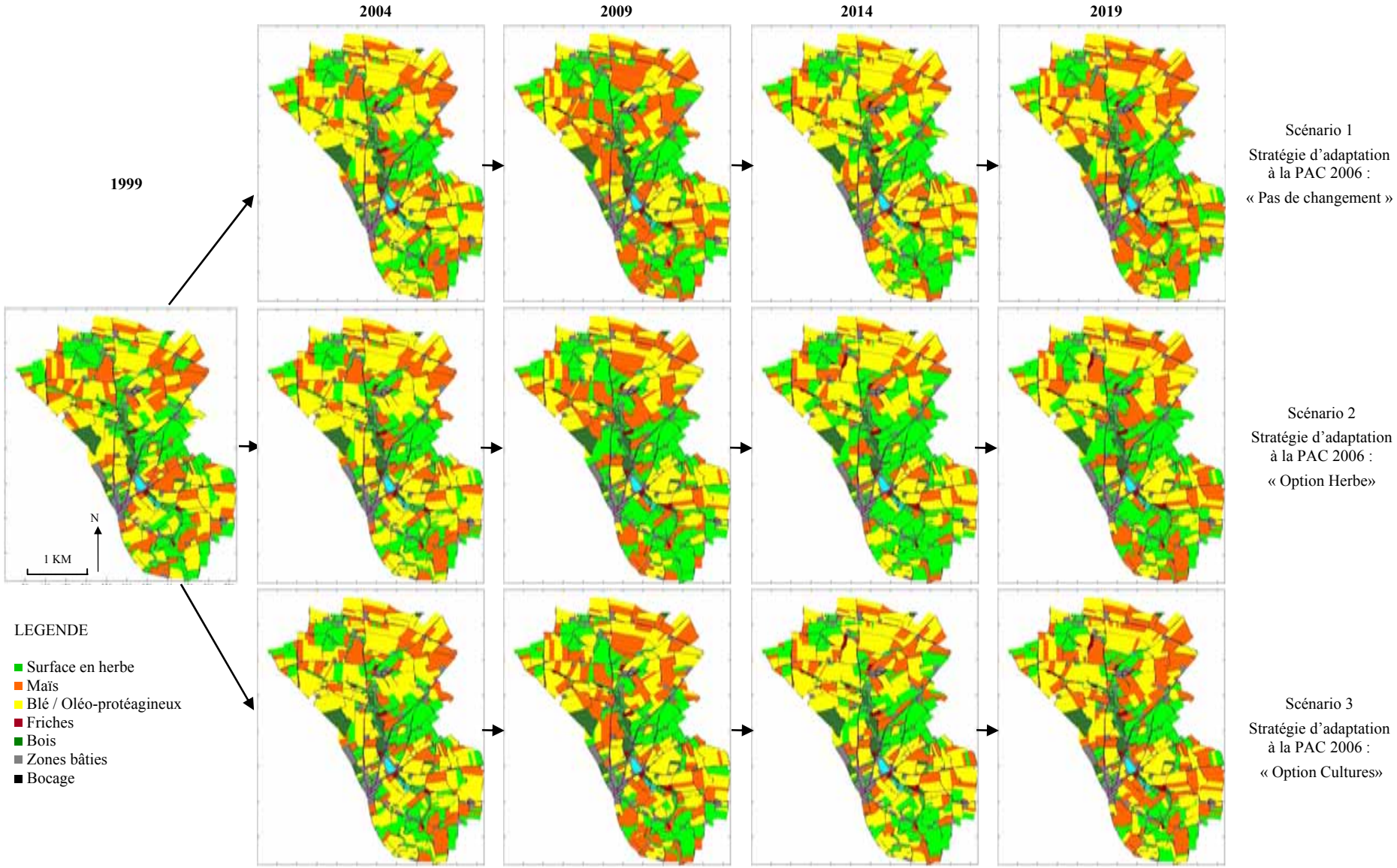


Figure 114. Evolution spatialisée des modes d'occupation et d'utilisation des sols pour les scénarios 1, 2 et 3 sur le bassin versant du Coët-Dan entre 1999 et 2019 (seules quelques cartographies également espacées dans le temps sont présentées, la simulation produisant en réalité une cartographie annuelle)

10.2.2.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides

L'évolution des types d'occupation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées n'a pas pu être effectuée sur la totalité des parcelles humides. Seulement 44% des parcelles, pour lesquelles les exploitants susceptibles de les utiliser sont connus, ont été prises en compte dans la simulation. Les parcelles dont les gestionnaires potentiels sont inconnus, sont pour la plupart en bois et en friches. Par conséquent, les résultats sont légèrement sous-estimés.

Les trois scénarios témoignent de la poursuite de la fermeture des zones humides. En 2020, il resterait à peine plus d'un tiers de la zone humide du Coët-Dan en prairies permanentes alors que celle-ci est déjà très réduite. Les stratégies d'adaptation influent peu sur la vitesse de fermeture comme le montre le tableau 27. La stratégie « Option Herbe » tend toutefois à légèrement ralentir leur fermeture avec plus de prairies que dans le scénario 3 et moins de bois que dans le scénario 1.

	1999	2020		
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Prairies permanentes	34	28	28	27
Friches	6	10	11	12
Bois	27	29	28	28
Total	67	67	67	67

Tableau 27. Evolution des superficies (en ha) des types d'occupation et d'utilisation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées pour les scénarios 1, 2 et 3 sur le Coët-Dan entre 1999 et 2020

10.2.2.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs

La surface potentielle en maïs correspondant au cumul de la surface des parcelles recevant au moins une fois du maïs diffère très légèrement suivant les stratégies d'adaptation à la PAC 2006. Elle est respectivement de 840 ha, 830 ha et 845 ha pour les scénarios 1, 2 et 3.

La figure 115 localise précisément les parcelles et îlots de parcelles présentant une fréquence de retour faible (moins d'une année sur trois, c'est-à-dire 7 occurrences), élevée (une année sur deux, soit 11 occurrences) et très élevée (deux années sur trois, soit 15 occurrences) pour les trois scénarios.

Dans les trois scénarios, les fréquences de retour en maïs de certaines parcelles ou groupes de parcelles restent invariantes. Les parcelles concernées appartiennent à des exploitations dont le système d'utilisation des terres ne dépend pas de la PAC mais du système de production (porcin « FAF »), ou bien à des exploitations dont la configuration spatiale et le système de production ne permettent pas de réels changements dans l'allocation spatiale des cultures.

La comparaison des scénarios 1 et 2 montre une baisse peu prononcée de la fréquence de retour en maïs pour certaines parcelles ou îlots de parcelles (1 à 3 occurrences en moins en 22 ans). D'autres parcelles en revanche bénéficient d'une baisse conséquente de la fréquence de retour en maïs (> 5 occurrences), par exemple dans la partie Médiane-ouest, le Centre-sud et Nord-est du bassin versant.

La comparaison des scénarios 1 et 3 montre une baisse légère de la fréquence de retour en maïs pour quelques parcelles ou îlots de parcelles. Cette baisse est par endroit un peu plus forte, par exemple dans le centre-nord du bassin versant où des parcelles sont passés de 7 et 13 occurrences à 2 et 5 occurrences après adoption de la stratégie « Option Céréales ». La baisse de la fréquence de retour en maïs est liée à l'augmentation de la fréquence de retour en céréales.

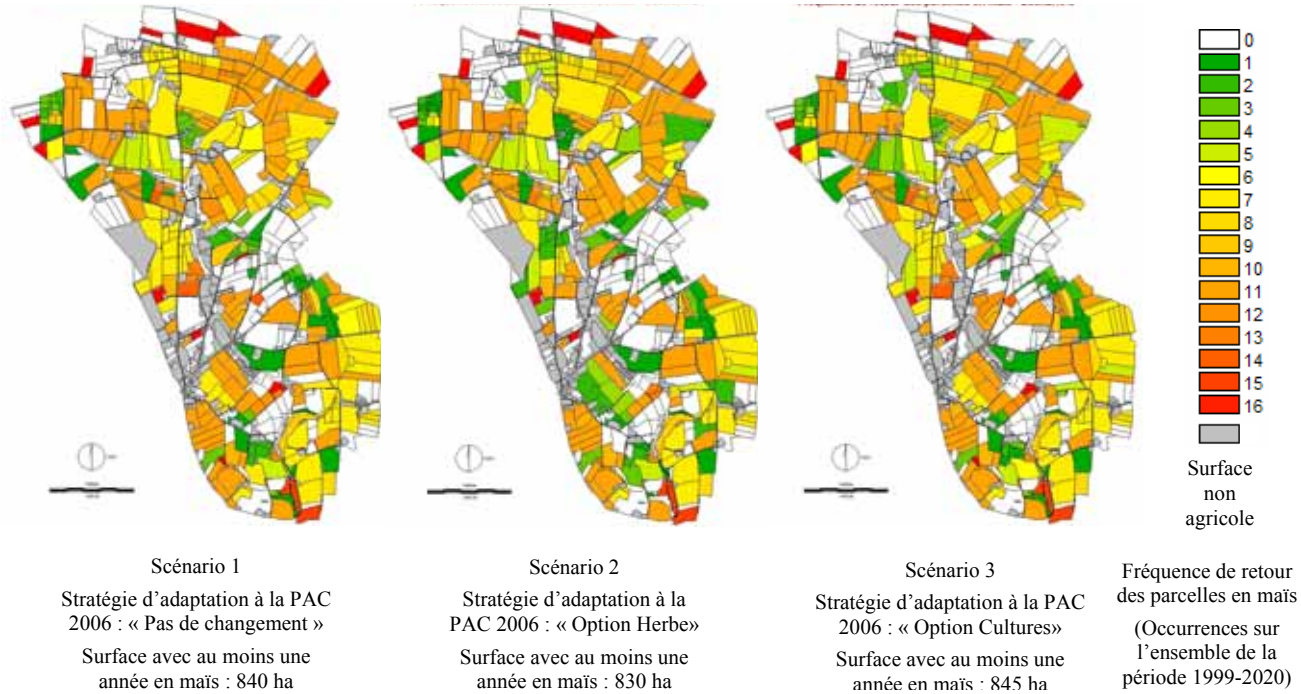


Figure 115. Cartes des occurrences en maïs des parcelles du Coët-Dan sur la période 1999-2020 pour les scénarios 1, 2 et 3

La comparaison des scénarios 1 et 2 (figure 116) montre que la stratégie « Option Herbe » tend à faire fortement baisser la proportion de surface potentielle en maïs à faible fréquence de retour. Dans le scénario 1, cela représente 81% de la surface concernée, soit 680 ha alors que cela représente 70% de la surface concernée, soit 581 ha dans le scénario 2. Cette baisse est moins forte pour les fréquences élevées et très élevées (361 ha avec au moins une année sur deux en maïs dans le scénario 1 contre 332 ha pour le scénario 2).

La comparaison des trois scénarios (figure 116) montre que la stratégie « Option Céréales » tend à faire moins fortement baisser la part de surface potentielle en maïs présentant une faible fréquence de retour dans le cas des scénarios 1 et 3 que dans celui du scénario 2. C'est vrai aussi pour les fréquences de retour élevées et très élevées. Dans le scénario 3, 74% de la surface concernée, soit 625 ha, reçoit du maïs au moins une année sur trois et 41% une année sur deux, soit 346 ha. Il n'y a pas de changements pour les parcelles qui reçoivent du maïs au moins 2 années sur 3.

A l'échelle du bassin versant, les deux stratégies « Option Herbe » et « Option Cultures » ont une faible influence sur l'évolution des fréquences de retour des parcelles en maïs. En outre, elles influent peu sur la surface potentielle en maïs.

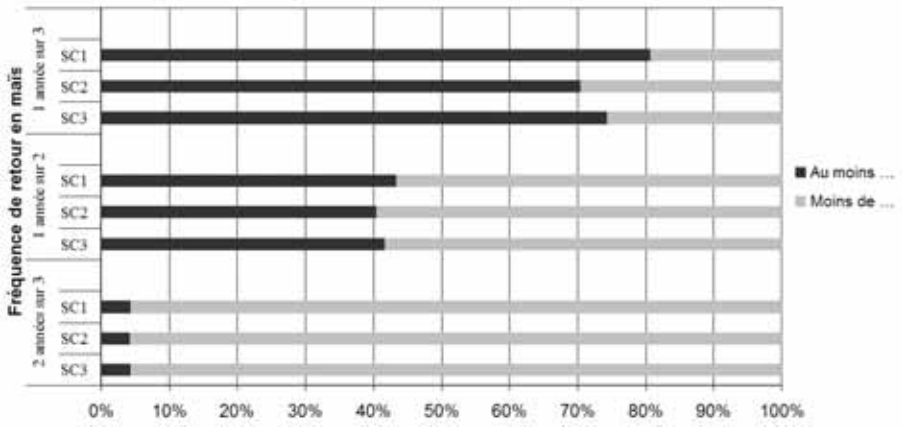


Figure 116. Proportions de surface potentielle en maïs sujette à recevoir une fréquence de retour définie pour les scénarios 1, 2 et 3 pour le bassin versant du Coët-Dan sur la période 1999-2020

10.2.2.4. L'impact des scénarios sur la distribution spatiale du maïs par rapport au cours d'eau

Sur le bassin versant du Coët-Dan, la quantité de maïs est plus importante (239 ha) en 1999 qu'en 2020 dans le cas des scénarios 1, 2 et 3 (respectivement 180 ha, 142 ha et 178 ha), les successions culturales engendrant de fortes fluctuations à l'échelle du bassin versant d'une année sur l'autre. Ceci explique en partie les différences au niveau de la distribution spatiale du maïs entre la situation initiale de 1999 et les trois scénarios. Pour le scénario 1, la comparaison des situations 1999 et 2020 montre que la distribution spatiale du maïs peut varier de façon importante dans les 100 premiers mètres par rapport au cours d'eau, entre 200 et 300 m et au-delà de 400 m (figure 117). Le scénario 2 montre une répartition quasi-similaire des surfaces en maïs par classes de distance au cours d'eau. Comparativement au scénario 1, la baisse de la surface en maïs concerne les zones les plus proches au cours d'eau (200 premiers mètres). Le scénario 3 produit une distribution des surfaces en maïs similaire au scénario 1.

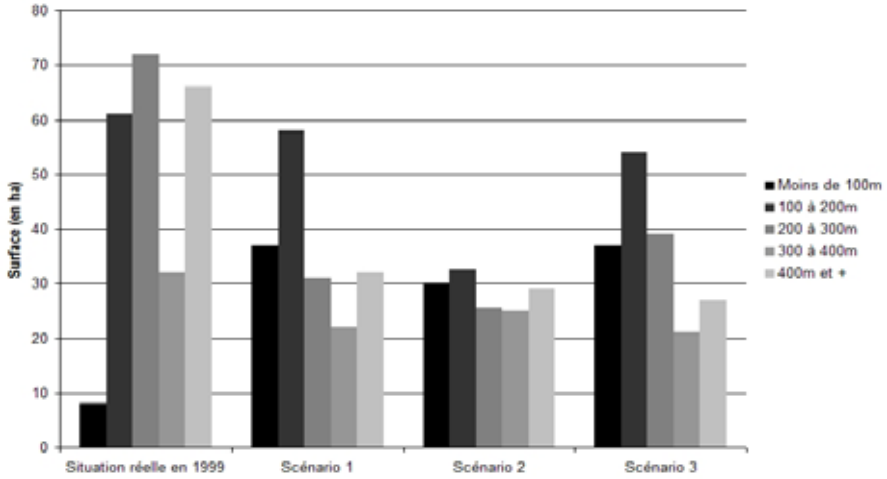


Figure 117. Surfaces cumulées en maïs par classes de distance au cours d'eau en 2020 sur le Coët-Dan pour les scénarios 1, 2 et 3

Les variations de distribution du maïs par rapport au cours d'eau peuvent être très importantes d'une année à l'autre. Toutefois, il semble que, quelle que soit la stratégie adoptée après la mise en place de la PAC 2006, cela n'a pas de réelle influence sur le risque potentiel lié à la présence de maïs dans la zone la plus proche du cours d'eau (moins de

100m). La stratégie « Option Herbe » se différencie des deux autres dans la zone comprise entre 100 et 200 m du cours d'eau.

10.2.3. Résultats sur le bassin versant du Stang Varric

Les répercussions des scénarios 1, 2 et 3 sur l'évolution des modes d'occupation des sols et, par incidence, sur les risques potentiels vis-à-vis des ressources en eau sont présentées ci-après pour le bassin versant du Stang Varric.

10.2.3.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols

En 1999, les proportions de prairies, maïs et de céréales (blé / oléo-protéagineux) étaient respectivement de 28.7%, 15% et 10.2% par rapport à la surface totale du bassin versant. Pour bien appréhender les changements qui interviennent sur un bassin versant, il convient de tenir compte de l'organisation spatiale des exploitations agricoles présentée dans le paragraphe 4.2.3. (figure 46 p. 109).

Dans le scénario 1 (figure 118), les surfaces en herbe occupent la moitié de la SAU du bassin versant sur l'ensemble de la période. Quelques îlots de cultures se distinguent et occupent l'autre moitié. Au final, les proportions moyennes sont proches de la situation initiale : 30.2% de prairies, 16.7% de maïs et 9% de céréales. Elles fluctuent après la PAC 2006 entre 26.8 et 33.4% pour les prairies, 13.3 et 18.9% pour le maïs et 7.7 et 12% pour les céréales (figure 119).

Dans le scénario 2 (figure 118), avant 2006, les cultures occupent des zones préférentielles au sein du bassin versant sur l'ensemble de la période, même si la distribution de certaines parcelles reste assez éclatée. Après 2006, seul le maïs est présent dans ces zones, les céréales ayant quasiment totalement disparu. Seules quelques parcelles dont l'exploitant n'a pas été identifié sont restées en céréales car elles ne sont pas prises en compte dans le processus de simulation. Avant 2006, à l'échelle du bassin versant, les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont respectivement de 30.2%, 16.7% et 9%. Elles sont de 42%, 12.1% et 2.2% après 2006. Après cette date, elles fluctuent entre 37.8 et 44.4% pour les prairies, 9.8 et 16.5% pour le maïs, et 2.1 et 2.9% pour les céréales (figure 119).

Dans le scénario 3 (figure 118), les cultures occupent toujours les mêmes zones au sein du bassin versant que dans le cas du scénario 1. Les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont, avant 2006, respectivement de 30.2%, 16.7% et 9%. Après 2006, elles sont de 32.1%, 12.6% et 11.6%. Après cette date, elles fluctuent entre 25.4 et 35.6% pour les prairies, 9.5 et 15.2% pour le maïs et 7.6 et 15.9% pour les céréales (figure 119).

Conformément aux stratégies d'adaptation adoptées, les proportions en prairies restent stables dans le scénario 1, augmentent fortement dans le scénario 2. Dans le cas du scénario 3, l'évolution des céréales est elle aussi bien visible.

Comparativement au scénario 1, la stratégie « Option Herbe » augmente la part moyenne en herbe de 11.8 points, essentiellement au détriment des céréales. La baisse de la part du maïs s'explique à la fois par les fluctuations liées aux successions culturales et par l'adoption de nouvelles successions.

Comparativement au scénario 1, la stratégie « Option Céréales » augmente la part moyenne en céréales de 2.6 points, essentiellement au détriment du maïs et, dans une moindre mesure, des prairies. Mais ce sont surtout les fluctuations importantes des céréales liées aux successions culturales qui se remarquent à l'échelle du bassin versant.

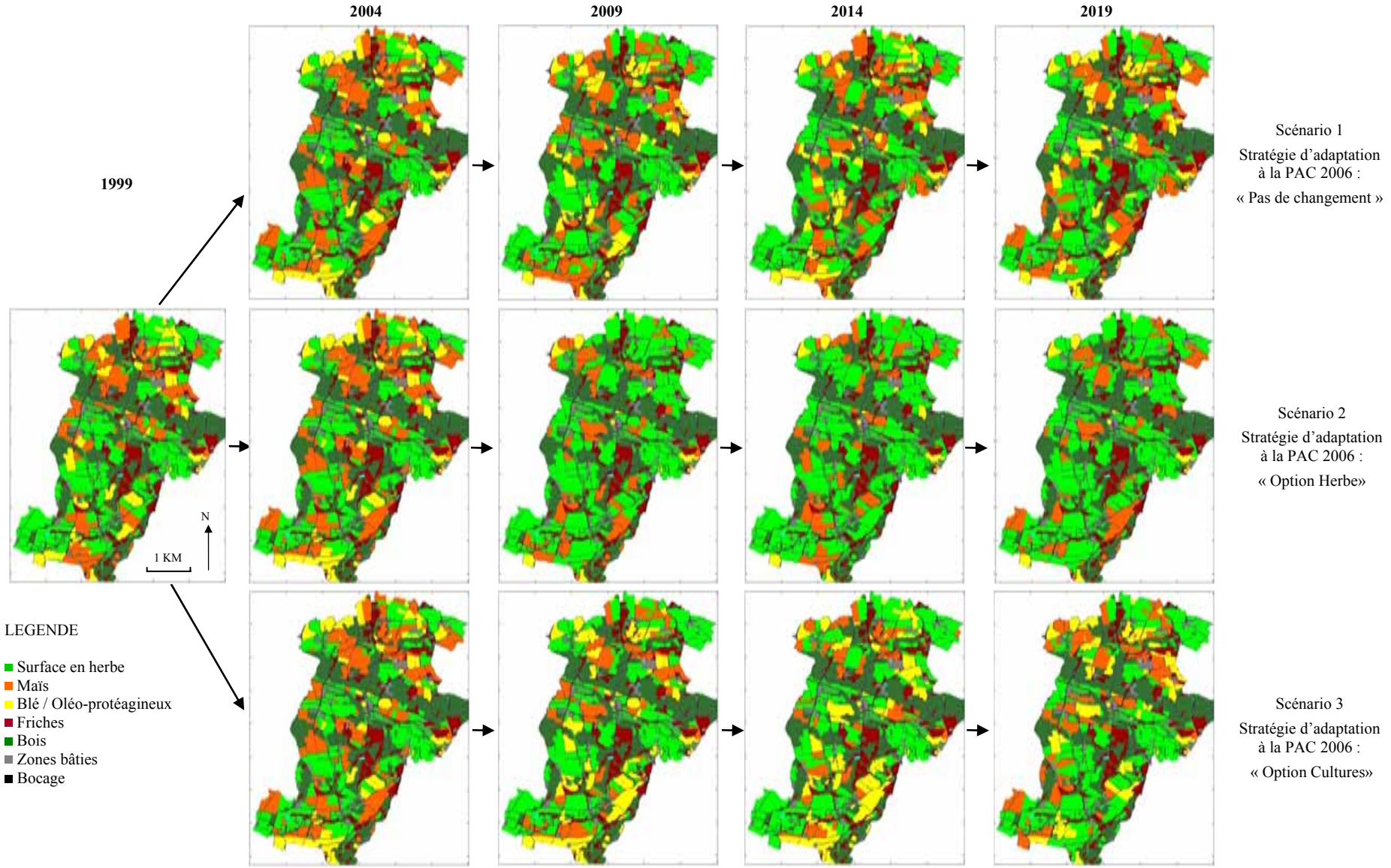


Figure 118. Evolution spatialisée des modes d'occupation et d'utilisation des sols pour les scénarios 1, 2 et 3 sur le bassin versant du Stang Varric entre 1999 et 2019 (seules quelques cartographies également espacées dans le temps sont présentées, la simulation produisant en réalité une cartographie annuelle)

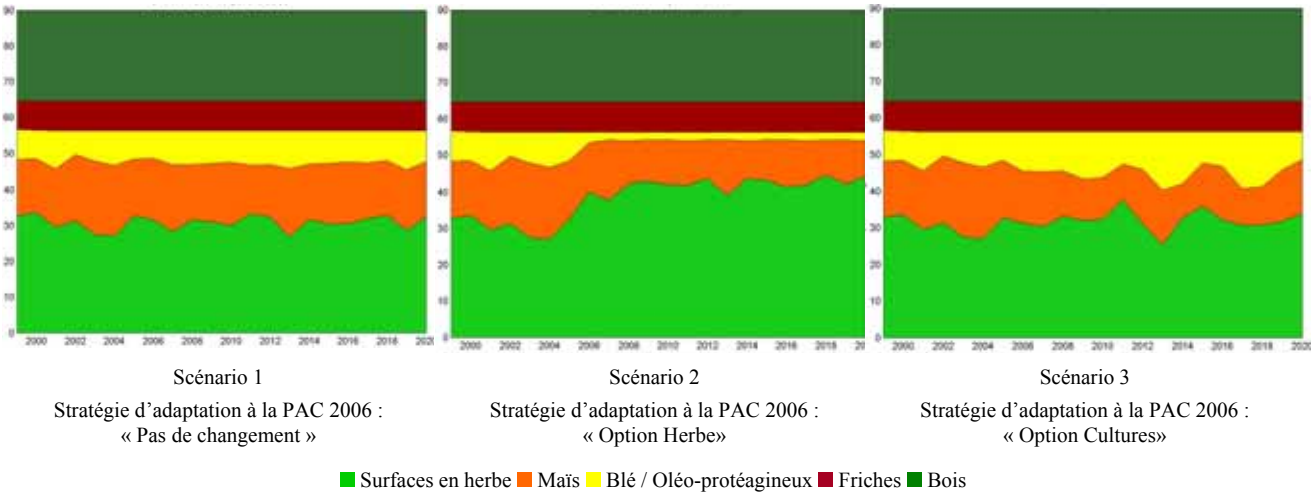


Figure 119. Evolution des proportions des types d'occupation des sols à l'échelle du bassin versant du Stang Varric entre 1999 et 2020 pour les scénarios 1, 2 et 3

10.2.3.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides

L'évolution des types d'occupation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées n'a pas pu être effectuée sur la totalité des parcelles humides. Seulement 47% des parcelles, dont les exploitants susceptibles de les utiliser sont connus, ont été prises en compte dans le processus de simulation. Les parcelles dont les gestionnaires potentiels sont inconnus, sont pour la plupart en bois et en friches. Par conséquent, les résultats obtenus sont partiels.

Les trois scénarios témoignent de la tendance lourde de fermeture des zones humides. En 2020, il resterait à peine plus d'un tiers de la zone humide du Stang Varric en prairies permanentes. Les trois stratégies d'adaptation influent peu sur la vitesse de fermeture, comme le montre le tableau 28. La stratégie « Option Herbe » tend toutefois à ralentir légèrement leur fermeture, avec plus de prairies que dans le cas du scénario 1 et moins de bois que dans le scénario 3.

	1999	2020		
		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Prairies permanentes	66	58	58	57
Friches	36	42	43	43
Bois	60	62	61	62
Total	162	162	162	162

Tableau 28. Evolution des superficies (en ha) des types d'occupation et d'utilisation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées pour les scénarios 1, 2 et 3 sur le Stang Varric entre 1999 et 2020

10.2.3.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs

La surface potentielle en maïs diffère suivant les stratégies d'adaptation avec, pour les scénarios 1, 2 et 3, respectivement 738 ha, 717 ha et 755 ha. Comme dans le cas des deux autres sites d'étude, l'évolution de la part des céréales dans l'assolement semble influencer

l'évolution de la surface totale potentiellement en maïs. La figure 120 localise les parcelles et îlots de parcelles pour chacun des scénarios présentant diverses fréquences de retour.

La comparaison des scénarios 1 et 2 montre une baisse peu prononcée de la fréquence de retour en maïs pour certaines parcelles ou îlots de parcelles (1 à 3 occurrences en moins en 22 ans). D'autres parcelles, notamment dans le nord-est du bassin versant, voient l'occurrence en maïs fortement baisser (-7 occurrences).

La comparaison des scénarios 1 et 3 montre une baisse de la fréquence de retour en maïs touchant l'ensemble des parcelles ou îlots de parcelles, et plus particulièrement celles présentant une forte fréquence de retour dans le scénario 1 (3 à 5 occurrences en moins en 22 ans). C'est par exemple le cas dans le nord-ouest et le sud du bassin versant.

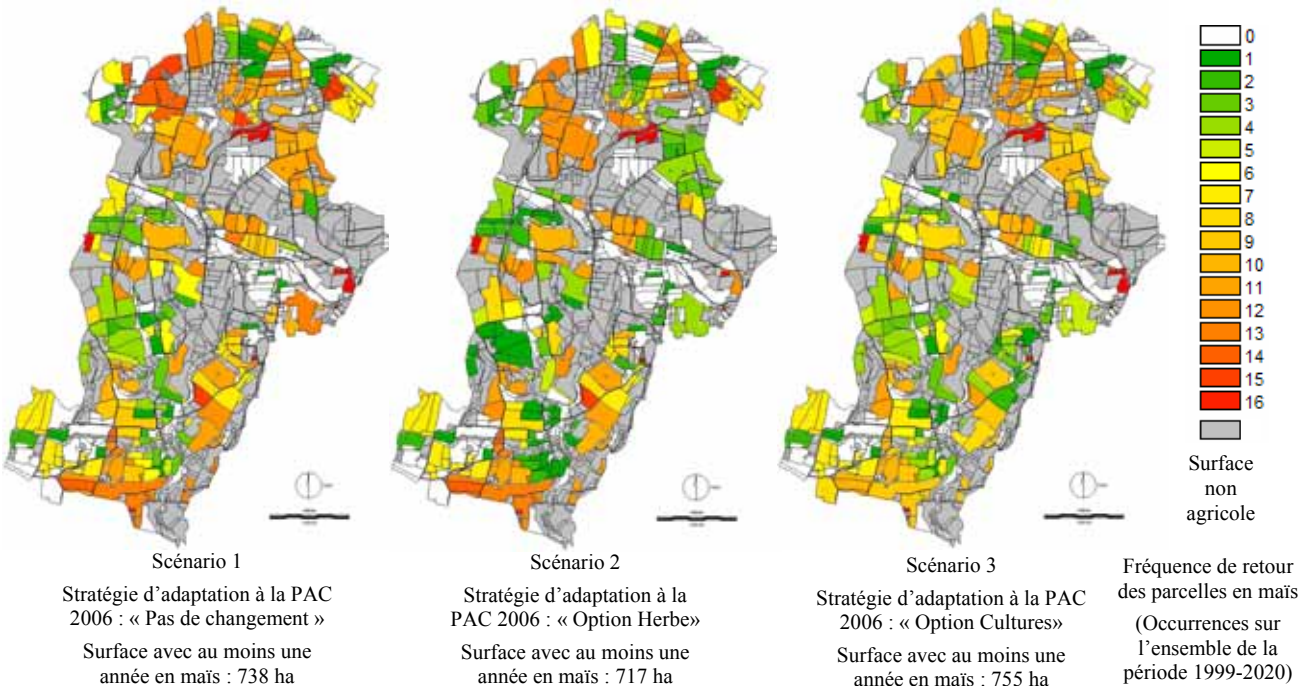


Figure 120. Cartes des occurrences en maïs des parcelles du Stang Varric durant la période 1999-2020 pour les scénarios 1, 2 et 3

La figure 121 montre la répartition de la surface potentielle en maïs suivant une fréquence de retour définie pour chacun des scénarios.

La comparaison des scénarios 1 et 2 montre que la stratégie « Option Herbe » tend à faire baisser de façon non négligeable la proportion de surface potentielle en maïs à faible fréquence de retour. Dans le scénario 1, cela représente 81% de la surface concernée, soit 598 ha alors que cela représente 70% de la surface concernée, soit 502 ha dans le cas du scénario 2. Cette baisse est moins forte pour les fréquences élevées : 317 ha avec au moins une année sur deux en maïs dans le scénario 1 contre 287 ha pour le scénario 2.

La comparaison des trois scénarios (figure 121) montre que la stratégie « Option Céréales » fait moins fortement baisser la part de surface potentielle en maïs à faible fréquence de retour dans le cas des scénarios 1 et 3 que dans celui du scénario 2. Dans le cas du scénario 3, 74% de la surface concernée, soit 558 ha, reçoit du maïs au moins une année sur trois et 41.5% une année sur deux, soit 313 ha.

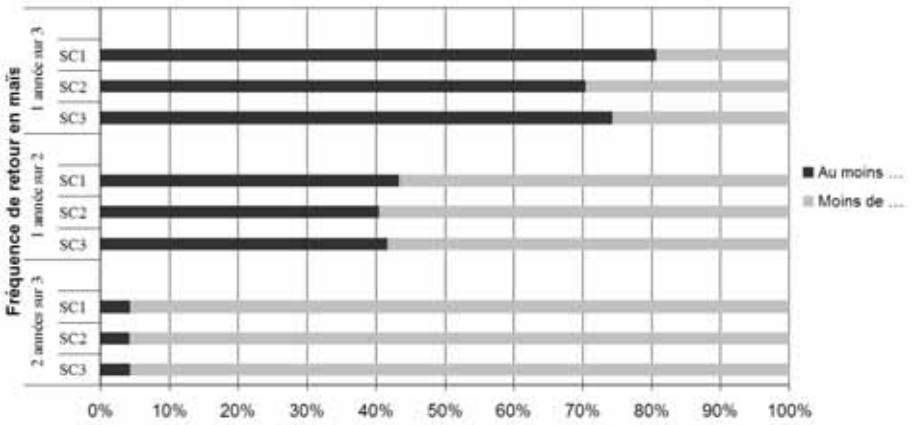


Figure 121. Proportions de surface potentielle en maïs sujette à recevoir une fréquence de retour définie pour les scénarios 1, 2 et 3 pour le bassin versant du Stang Varric sur la période 1999-2020

10.2.3.4. L'impact sur la distribution spatiale du maïs par rapport au cours d'eau

En 2020, la quantité de maïs sur le bassin versant du Lestolet est plus importante pour le scénario 3 (234 ha) que pour les scénarios 2 et 3 (222 et 146 ha). Elle est aussi légèrement supérieure à celle de 1998 (204 ha).

Pour le scénario 1, la comparaison de la situation de référence (1999) avec celle de 2020 montre que la distribution spatiale du maïs peut varier de façon importante dans les 100 premiers mètres par rapport au cours d'eau, entre 200 et 300 m et au-delà de 400 m (figure 122). Le scénario 2 montre une répartition similaire à celle de 1999, avec toutefois, légèrement plus de maïs dans les 100 premiers mètres, et moins de maïs au-delà.

Le scénario 3 montre une distribution des surfaces en maïs intermédiaire entre le scénario 1 et la situation réelle. La hausse en maïs s'effectue majoritairement au-delà d'une distance de 200m par rapport au cours d'eau.

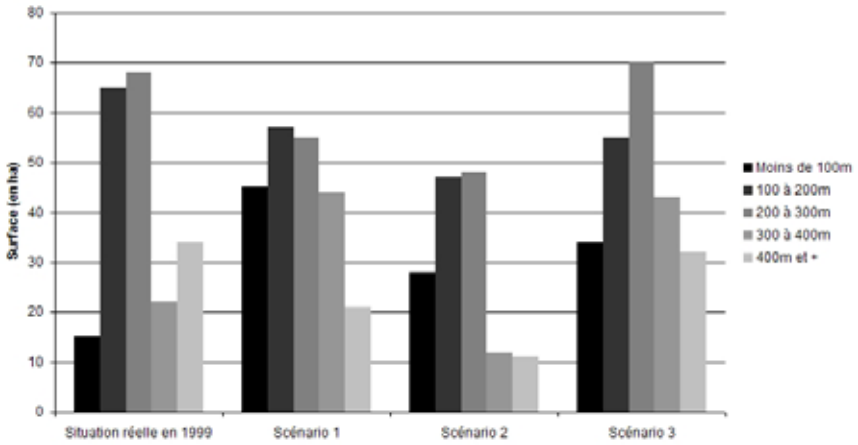


Figure 122. Surfaces cumulées en maïs par classes de distance au cours d'eau en 2020 sur le Stang Varric pour les scénarios 1, 2 et 3

Les variations de la distribution des surfaces en maïs par rapport au cours d'eau peuvent être relativement importantes d'une année sur l'autre. Toutefois, il semble que, quelle que soit la stratégie adoptée après la mise en place de la PAC 2006, cela n'influence pas de façon très significative le risque potentiel lié au maïs dans la zone proche du cours d'eau (moins de 200m) : la stratégie « Option Herbe » se distingue par des cumuls en maïs moins importants.

10.2.4. Synthèse de l'influence de la PAC 2006 sur l'évolution des modes d'occupation des sols

La comparaison de deux stratégies contrastées d'adaptation à la PAC 2006 (scénarios 2 et 3) avec un scénario de prolongement (scénario 1) a permis de montrer à l'échelle d'un bassin versant que :

- l'ampleur des changements provoqués par l'une ou l'autre des stratégies, cartographiés et quantifiés grâce à la plateforme L1, est variable d'un bassin versant à un autre ;
- les scénarios 2 et 3 tendent à faire diminuer la part moyenne en maïs de 2 à 4 points, selon le degré de priorité attribué à la l'herbe (scénario 2) et aux céréales (scénario 3) qui modifie les successions culturales ;
- la fermeture des zones humides est une tendance lourde en l'état actuel des modes d'utilisation des terres. Aucune stratégie ne l'évite. Seule la stratégie « Option Herbe » semble la ralentir légèrement par rapport aux deux autres ;
- quelque soit le site étudié, la stratégie « Option Herbe » diminue la surface totale sujette à recevoir au moins une fois du maïs par rapport au scénario « *business as usual* ». A l'inverse, la stratégie « Option Cultures » l'augmente ;
- les scénarios 2 et 3 font baisser la fréquence de retour en maïs sur la plupart des parcelles ou îlots de parcelles comparativement au scénario 1. Dans le cas du scénario 2, l'arrêt de la culture des céréales offre plus de possibilités d'implantation de maïs sur les parcelles destinées à recevoir les cultures et permet de faire diminuer la fréquence de retour. Dans le cas du scénario 3, l'implantation en priorité de céréales contraint à augmenter le nombre de parcelles recevant des cultures (et donc potentiellement du maïs), mais engendre aussi la réalisation de rotations plus rapides faisant baisser la fréquence de retour en maïs ;
- aucune des stratégies n'a d'influence spécifique sur la distribution du maïs par rapport au cours d'eau. Les impacts sont variables suivant les sites démontrant que le risque potentiel lié à la localisation du maïs n'est pas directement lié aux changements de la PAC. Deux facteurs structurels jouent un rôle prépondérant vis-à-vis de ce risque potentiel : la densité du réseau hydrographique et la configuration spatiale des exploitations agricoles par rapport à celui-ci.

Des tendances d'évolution se distinguent pour chacune des stratégies, mais des différences existent d'un site à l'autre. A l'échelle du bassin versant, les évolutions ne sont pas linéaires et parfois difficilement prévisibles. La mosaïque des exploitations agricoles explique ces difficultés : leur système de production et leur répartition spatiale (taille des exploitations, regroupement ou éclatement du parcellaire, etc.) ont des influences variables dans l'évolution quantitative et spatiale des modes d'occupation des sols.

10.3. L'agrandissement des exploitations agricoles : influence sur l'évolution des modes d'occupation des sols et impacts potentiels sur les ressources en eau

La mise en évidence de l'influence de l'agrandissement des exploitations agricoles sur l'évolution des modes d'occupation des sols à l'échelle d'un bassin versant est réalisé à travers la comparaison des scénarios 1, 2 et 3 avec les scénarios 4, 5 et 6. Nous rappelons que ces derniers reprennent la base des scénarios 1, 2 et 3 et intègrent l'agrandissement des exploitations agricoles dans la simulation. Ces scénarios sont appliqués uniquement au bassin versant du Lestolet, seul bassin versant sur lequel des données fiables et exhaustives existent.

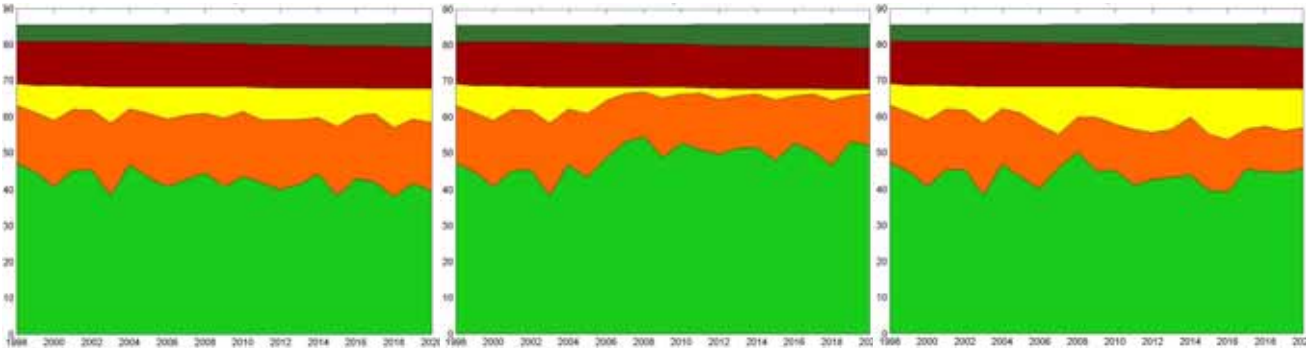
10.3.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols

Dans le scénario 4 (figure 124), les cultures sont généralement regroupées en îlots de parcelles relativement stables sur l'ensemble de la période, un certain nombre de parcelles restant assez éclatées au sein du bassin versant. A partir de 2013, leur répartition tend à se regrouper en grands îlots. Leur proportion tend à s'accroître légèrement tout au long de la période. Avant 2006, les proportions moyennes de prairies, de maïs et de céréales sont respectivement de 43.9%, 17.2% et 7.7%. Entre 2006 et 2013, elles sont respectivement de 42%, 18% et 8.2%. Après 2013, elles sont de 40.9%, 18.1% et 8.9% (figure 123).

La comparaison du scénario 4 avec le scénario 1 (figures 108 p. 245 et 109 p. 246 – § 10.1.2.1.) laisse supposer que l'agrandissement des exploitations favorise l'augmentation de la part des cultures et leur regroupement en îlots à l'échelle du bassin versant.

Dans le scénario 5 (figure 124), les cultures occupent les mêmes zones que dans le cas du scénario 4. Après 2006, seul le maïs est présent dans ces zones, les céréales ayant quasiment totalement disparu, à l'exception de l'exploitation porcine qui implante des oléo-protéagineux (colza d'hiver) après un maïs. A partir de 2013, nous observons un net regroupement en îlots. Bien évidemment, la part des surfaces en herbe augmente sensiblement après 2006 (figure 123). Elle passe de 43.9% avant 2006 à 50.9% après 2006. Toutefois, une légère décroissance s'observe après 2006 : entre 2006 et 2013, la part en herbe varie de 51.1% à 50.6% entre 2013 et 2020. Cette baisse se fait au profit du maïs qui totalise en moyenne 14.9% après 2006.

La comparaison du scénario 5 avec le scénario 2 (figures 108 p. 245 et 109 p. 246 – § 10.1.2.1.) montre que, là encore, l'agrandissement des exploitations favorise légèrement l'augmentation de la part des cultures et leur regroupement en îlots à l'échelle du bassin versant.



Scénario 4
Stratégie d'adaptation à la PAC 2006
« Pas de changement » et agrandissement des exploitations

Scénario 5
Stratégie d'adaptation à la PAC 2006
« Option Herbe» et agrandissement des exploitations

Scénario 6
Stratégie d'adaptation à la PAC 2006
« Option Cultures» et agrandissement des exploitations

Surfaces en herbe ■ Maïs ■ Blé / Oléo-protéagineux ■ Friches ■ Bois

Figure 123. Evolution des proportions des types d'occupation des sols à l'échelle du bassin versant du Lestolet entre 1998 et 2020 pour les scénarios 4, 5 et 6

Dans le scénario 6 (figure 124), les cultures occupent toujours les mêmes zones au sein du bassin versant. La tendance au regroupement des parcelles de cultures est moins visible que dans les cas des scénarios 4 et 5. Après 2006, la part de céréales a augmenté de façon non négligeable. Elle passe de 7.5% avant 2006 à 11.1% après 2006. La proportion de surfaces en herbe reste stable avec 43.9% avant 2006 et 43.7% après 2006. Toutefois, une légère décroissance s'observe après 2006 : entre 2006 et 2013, la part en herbe est de 44.2% et de 43.2% entre 2013 et 2020. Le maïs ne totalise plus que 13.2% de la surface du bassin versant après 2006 (figure 123).

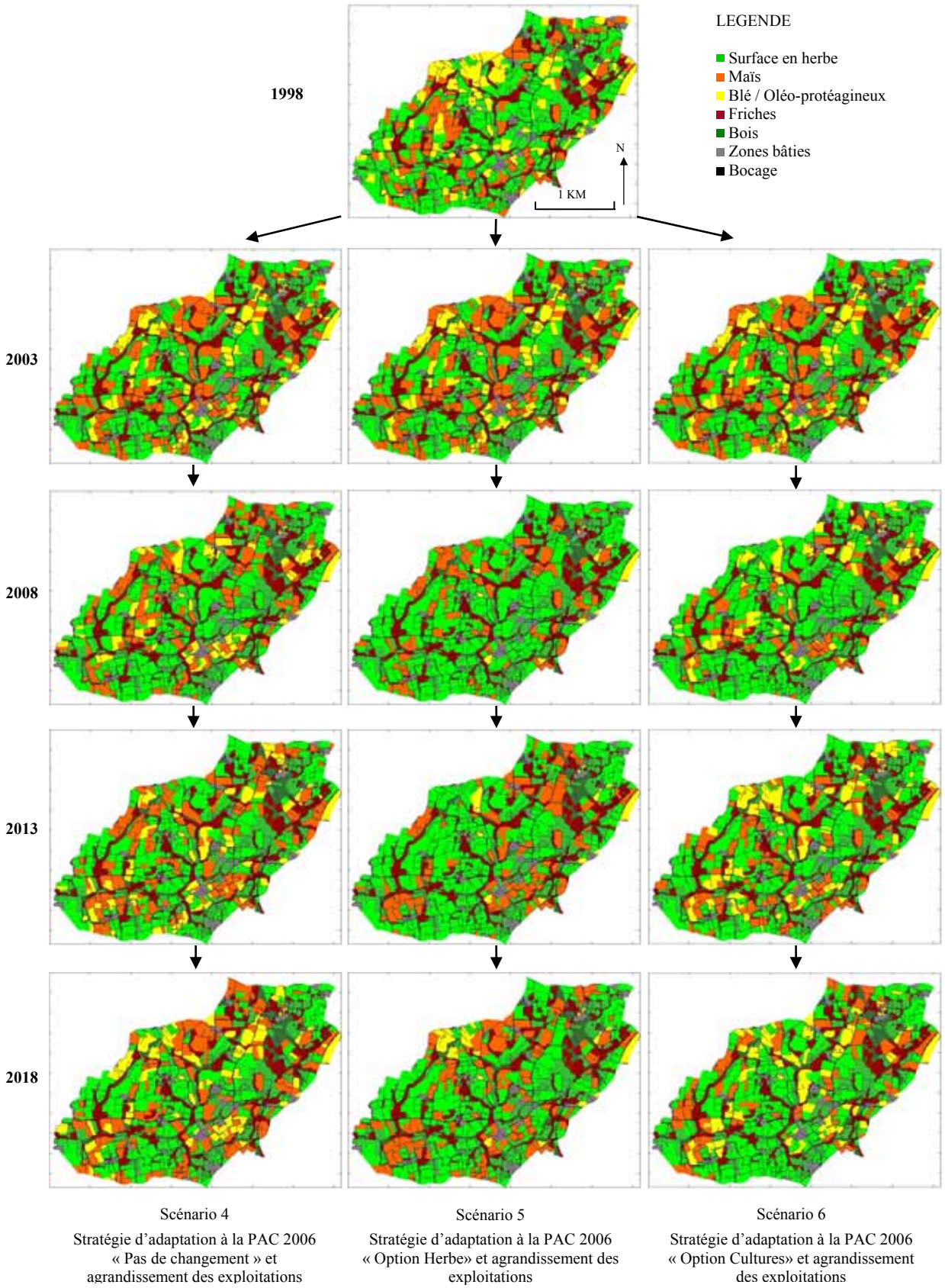


Figure 124. Evolution spatialisée des modes d'occupation et d'utilisation des sols pour les scénarios 4, 5 et 6 sur le bassin versant du Lestolet entre 1998 et 2018 (seules quelques cartographies également espacées dans le temps sont présentées, la simulation produisant en réalité une cartographie annuelle)

La comparaison du scénario 6 avec le scénario 3 (figures 108 p. 245 et 109 p. 246 – § 10.1.2.1.) montre que l'agrandissement des exploitations favorise légèrement l'augmentation de la part des cultures suivant un rythme qui suit celui de l'évolution des exploitations. Les différences sont légères, exprimant la difficulté à séparer l'influence respective de deux facteurs de changements.

L'évolution des modes d'occupation des sols à l'échelle du Lestolet est conforme aux stratégies possibles d'adaptation à la PAC 2006. Toutefois, la légère baisse tendancielle de la part d'herbe dans les trois scénarios témoigne de l'impact non négligeable de l'agrandissement des exploitations agricoles dans l'évolution des modes d'occupation des sols. Cet agrandissement favorise la hausse de la part des cultures au sein d'un bassin versant.

10.3.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides

Les trois scénarios témoignent de la poursuite de la fermeture des zones humides. L'agrandissement des exploitations accélère légèrement leur fermeture, comparativement aux seules stratégies d'adaptation à la PAC. En effet, le tableau 29 montre que la superficie en prairies permanentes est inférieure pour les scénarios 4, 5 et 6, comparativement aux scénarios 1, 2 et 3. Les faibles écarts s'expliquent par la part de parcelles humides concernées par la simulation (60%) et le fait que la majeure partie de la zone humide est déjà abandonnée.

Il semble aussi que l'agrandissement des exploitations ne modifie pas l'influence respective des différentes stratégies : la stratégie « Option Herbe » ralentit légèrement la fermeture par rapport aux deux autres.

	1998	2020					
		Sc. 1	Sc. 2	Sc. 3	Sc. 4	Sc. 5	Sc. 6
Prairies permanentes	36	24	25	25	22	23	23
Friches	125	117	115	114	117	115	114
Bois	59	79	80	81	81	82	83
Total	220	220	220	220	220	220	220

Tableau 29. Evolution des superficies (en ha) des types d'occupation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées pour les scénarios 1, 2 et 3 sur le Lestolet entre 1998 et 2020

10.3.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs

Dans les scénarios 4, 5 et 6, la surface potentielle en maïs est respectivement de 698 ha, 634 ha et 690 ha. L'agrandissement des exploitations agricoles influence l'évolution de la surface totale potentiellement en maïs. Comparativement aux scénarios 1, 2 et 3, elle augmente de 56 ha pour la stratégie « *business as usual* », de 40 ha pour la stratégie « Option Herbe » et de 56 ha pour la stratégie « Option Cultures ». Cela s'explique par le fait que l'agrandissement des exploitations augmente la part des cultures.

La figure 125 localise les parcelles et îlots de parcelles, selon la fréquence de retour des parcelles en maïs pour chacun des scénarios Dans les trois scénarios, les parcelles ou groupes de parcelles qui présentent les fréquences de retour les plus élevées sont les mêmes.

La comparaison des scénarios 4, 5 et 6 témoigne des effets des trois stratégies d'agrandissement des exploitations sur l'évolution de la fréquence de retour en maïs observés : entre les scénarios 4 et 5, la baisse est peu prononcée pour certaines parcelles ou îlots de parcelles (1 à 3 occurrences en moins en 22 ans) ou nulle pour d'autres ; entre les scénarios 4 et 6, la baisse est sensible pour l'ensemble des parcelles ou îlots de parcelles, et plus particulièrement celles présentant une forte fréquence de retour dans le cas du scénario 4.

La comparaison des cartes de fréquence de retour pour les scénarios 1 et 4 (figures 110 p. 248 et 111 p. 249) indique que des parcelles présentant de fortes fréquences dans le scénario 1 voit le nombre d'occurrences en maïs baisser et réciproquement. Cela s'explique par la réorganisation de l'allocation spatiale des cultures suite à la reprise d'une exploitation voisine mais aussi de la date à laquelle s'est faite cette reprise. Il en va de même pour les scénarios 2 et 4, et 3 et 6.

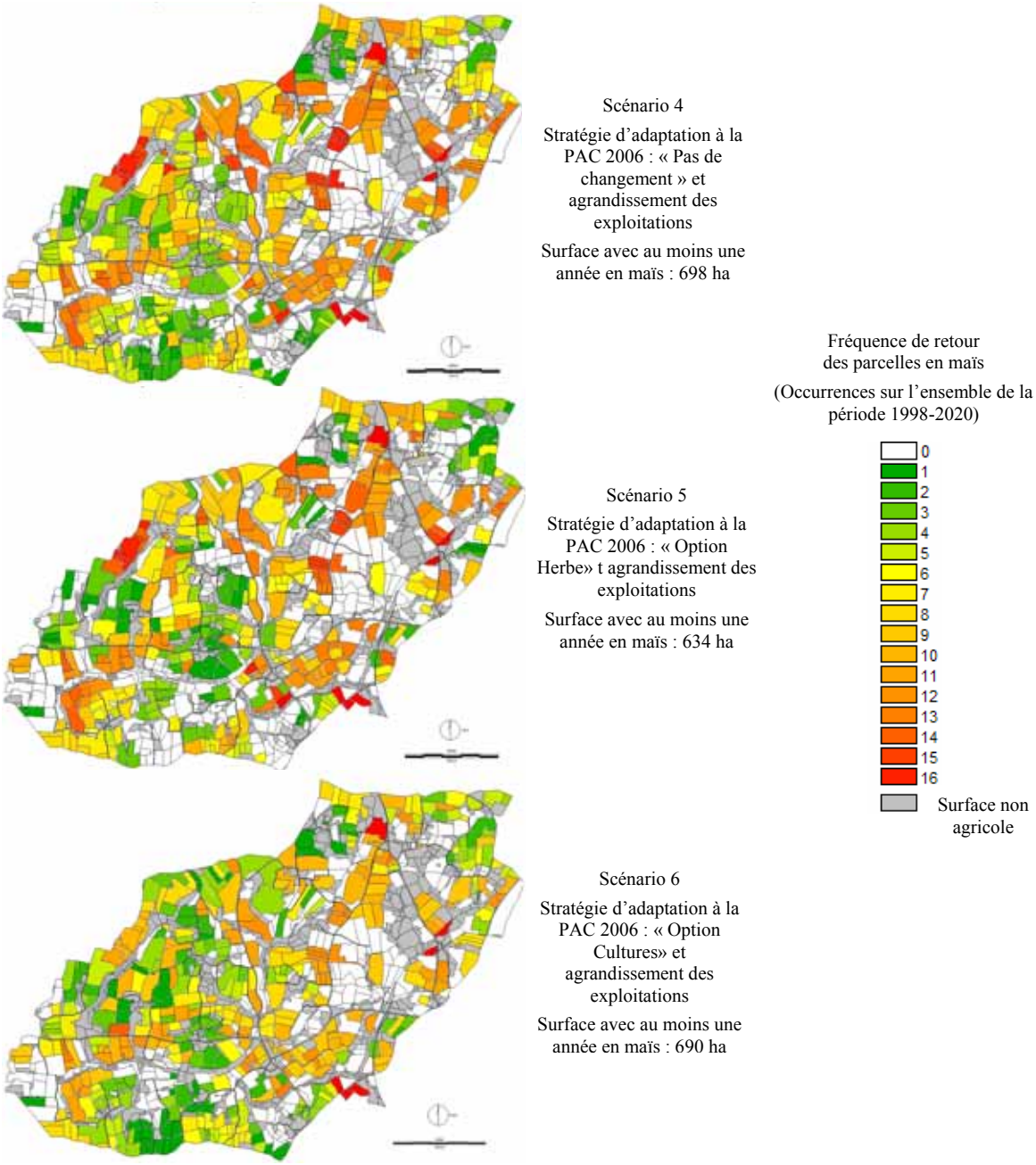


Figure 125. Cartes des occurrences en maïs des parcelles du Lestolet durant la période 1998-2020 pour les scénarios 4, 5 et 6

La figure 126 montre la répartition de la surface potentielle en maïs suivant une fréquence de retour définie pour chacun des scénarios étudié.

La comparaison des scénarios 1 et 4 montre que l'agrandissement des exploitations tend à faire baisser la proportion de surface potentielle en maïs à faible fréquence de retour. Dans le scénario 1 cela représente 70% de la surface concernée, soit 449 ha alors que cela représente que 62% de la surface concernée, soit 428 ha dans le cas du scénario 4. Cette baisse est moins forte pour les fréquences élevées et très élevées : 250 ha avec au moins une année sur deux en maïs dans le scénario 1 contre 218 ha pour le scénario 4, et respectivement 50 et 40 ha pour une fréquence de deux années sur trois en maïs.

La comparaison des scénarios 2 et 5 montre que l'agrandissement des exploitations tend à faire augmenter la proportion de surface potentielle en maïs à faible fréquence de retour. Dans le scénario 2 cela représente 54% de la surface concernée, soit 324 ha alors que cela représente 64% de la surface concernée, soit 394 ha, dans le scénario 5. Par contre, une légère baisse s'observe pour les fréquences élevées et très élevées : 214 ha avec au moins une année sur deux en maïs dans le scénario 2 contre 203 ha pour le scénario 5 ; et respectivement 33 et 28 ha pour une fréquence de deux années sur trois en maïs.

La comparaison des scénarios 3 et 6 montre que l'agrandissement des exploitations tend à faire augmenter la proportion de surface potentielle en maïs à faible fréquence de retour. Dans le scénario 3, cela représente 47% de la surface concernée, soit 310 ha alors que cela représente 52% de la surface concernée, soit 360 ha, dans le scénario 6 pour une fréquence de retour d'une année sur trois. Par contre, une légère baisse s'observe pour les fréquences élevées : 112 ha avec au moins une année sur deux en maïs dans le scénario 3 contre 96 ha pour le scénario 6. Contrairement au scénario 3, il reste quelques parcelles à très forte fréquence de retour (moins de 10 ha) dans le scénario 6.

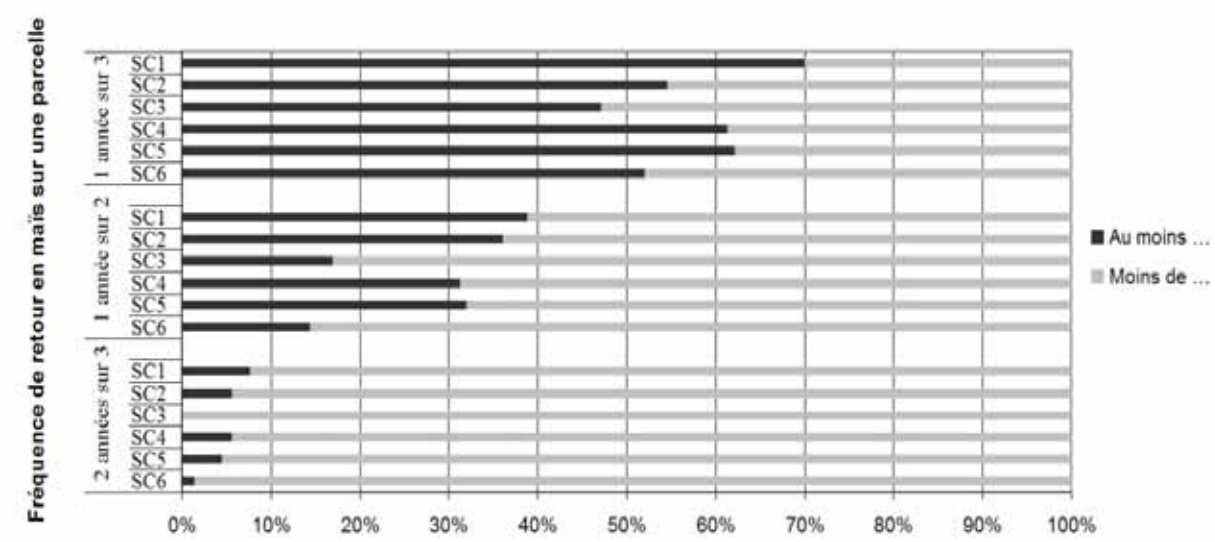


Figure 126. Proportions de surface potentielle en maïs sujette à recevoir une fréquence de retour définie pour les scénarios 1, 2, 3, 4, 5 et 6 pour le bassin versant du Lestolet sur la période 1998-2020

L'agrandissement des exploitations a des répercussions variables sur le risque potentiel lié à la culture du maïs : il tend majoritairement à faire légèrement baisser la fréquence de retour des parcelles en maïs, mais augmente sensiblement la surface potentielle en maïs. Il engendre une redistribution des parcelles de cultures : d'une part, de façon plus groupée avec des incidences potentielles sur le bocage (arasement) et d'autre part, dans des zones qui étaient potentiellement moins cultivées auparavant.

10.3.4. L'impact sur l'allocation spatiale du maïs par rapport au cours d'eau

Etant donné que l'agrandissement des exploitations tend à augmenter la part en cultures, il est logique de retrouver, comparativement aux scénarios 1 (224 ha), 2 (152 ha), et 3 (155 ha), autant, sinon plus de maïs en 2020 dans les scénarios 4 (246 ha), 5 (190 ha) et 6 (150 ha).

La comparaison des scénarios 1 et 4 (figure 127) montre que l'agrandissement des exploitations augmente sensiblement le risque potentiel lié au maïs au-delà des 100 premiers mètres. La comparaison des scénarios 2 et 5 met aussi en évidence une baisse non négligeable de la part en maïs en deçà d'une distance de 100 m au cours d'eau. La distribution du maïs par rapport au cours d'eau est similaire, lorsque l'on compare les scénarios 3 et 6.

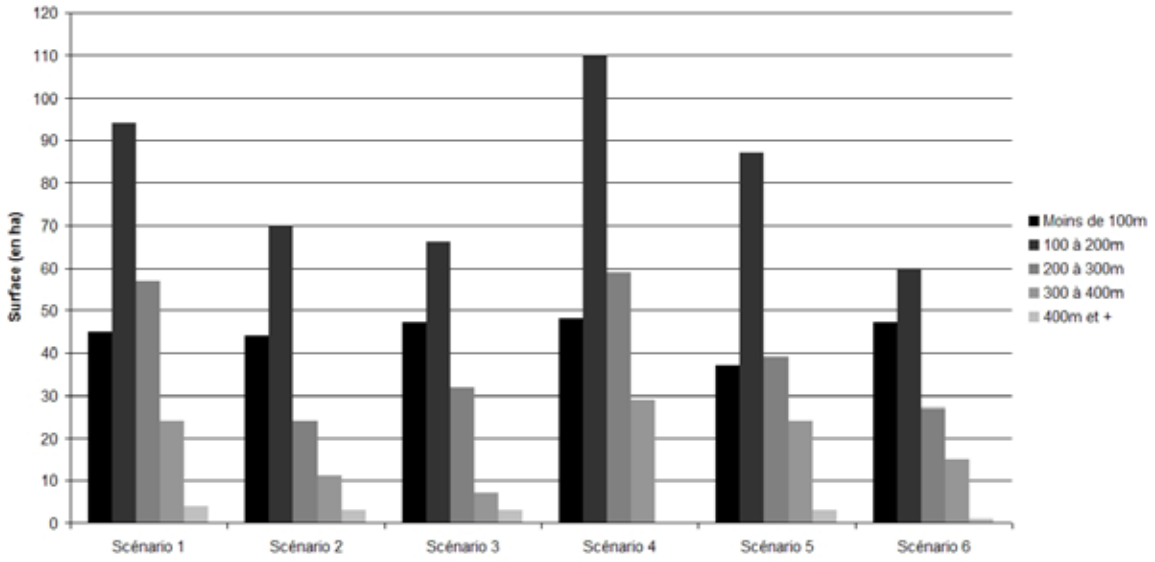


Figure 127. Surfaces cumulées en maïs par classes de distance au cours d'eau en 2020 sur le Lestolet pour les scénarios 1, 2, 3, 4, 5 et 6

10.3.5. Synthèse de l'influence de l'agrandissement des exploitations agricoles sur l'évolution des modes d'occupation des sols

La comparaison de scénarios présentant différentes stratégies d'adaptation à la PAC 2006 pour lesquels les exploitations ne s'agrandissent pas (scénarios 1, 2 et 3) avec ceux intégrant l'agrandissement des exploitations agricoles (scénarios 4, 5 et 6) a permis de montrer que :

- l'influence respective des trois stratégies d'adaptation à la PAC 2006 sur l'évolution des modes d'occupation de sols est conservée ;
- l'agrandissement des exploitations tend à faire diminuer la part des surfaces en herbe ;
- l'agrandissement des exploitations accélère la fermeture des zones humides indépendamment des stratégies adoptées. La stratégie « Option Herbe » tend toujours à légèrement ralentir cette fermeture par rapport aux deux autres ;
- l'agrandissement des exploitations augmente de façon non négligeable la surface susceptible de recevoir du maïs ;

- l'influence de l'agrandissement des exploitations sur le risque potentiel lié aux fréquences de retour en maïs est contradictoire suivant les scénarios : dans le cas du scénario « *business as usual* », l'agrandissement des exploitations tend à faire baisser les superficies concernées par les fréquences de retour en maïs faibles à fortes. A l'inverse, dans les scénarios « Option Herbe » et « Option Cultures », il augmente les surfaces concernées par de faibles fréquences de retour et baisse les surfaces concernées par des fréquences élevées ;
- l'agrandissement des exploitations influence la distribution du maïs par rapport au cours d'eau. Dans les trois stratégies d'adaptation à la PAC 2006, cela engendre une augmentation de la surface en maïs dans une zone située entre 100 et 200 m du cours d'eau, que la proportion en maïs augmente sensiblement ou reste stable. La densité du réseau hydrographique constitue une contrainte structurelle forte. Les changements d'organisation foncière des exploitations agricoles peut, quant à elle, avoir des incidences sur le risque lié à la localisation du maïs par rapport au cours d'eau.

L'évolution des exploitations agricoles constitue une variable clef de l'évolution des paysages agricoles bocagers à l'échelle d'un bassin versant. Certes l'influence de l'agrandissement des exploitations agricoles sur l'évolution des modes d'occupation des sols est moins visible que l'évolution des assolements, mais les changements subtils qu'elle engendre peuvent avoir des conséquences non négligeables sur les ressources en eau. Ces changements peuvent par exemple se traduire par une légère hausse de la proportion de certaines cultures, un changement d'allocation spatiale de types d'occupation des sols, une accélération de la fermeture des zones humides, ou encore un regroupement des cultures en îlots pouvant entraîner l'arasement des haies situées au sein de ces îlots…

Ces changements sont d'autant plus subtils que, d'une exploitation à l'autre, l'effet cumulé de l'agrandissement foncier et de l'évolution des assolements liés à la PAC n'est pas linéaire. Ils sont alors d'autant plus difficiles à anticiper à l'échelle d'un bassin versant : les parcelles reprises par un autre exploitant sont potentiellement concernées par des changements d'assolement (issus de l'utilisation de ces parcelles par un exploitant ayant un système de production différent de celui qui a cessé son activité) et sûrement par des successions différentes (la distance au siège d'exploitation est automatiquement modifiée).

La plateforme L1 permet de spatialiser et de quantifier ces changements subtils et complexes grâce à la prise en compte de ce type d'interactions.

10.4. Les changements de la structure spatiale du parcellaire : influence sur l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols et impacts potentiels sur les transferts de flux

A l'échelle d'un bassin versant, l'évaluation de l'influence de l'évolution des structures foncières (agrandissement des exploitations, du parcellaire, …) sur l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères et de leurs incidences sur les transferts de flux est réalisé par la comparaison des scénarios 5, 7 et 8. Ces scénarios sont appliqués uniquement au bassin versant du Lestolet pour lequel des données fiables et exhaustives existent.

10.4.1. L'évolution de la structure foncière

Il s'agit tout d'abord d'évaluer les changements susceptibles d'intervenir au niveau du parcellaire et de la densité bocagère.

10.4.1.1. L'évolution de la taille moyenne des parcelles

Le scénario 5 est représentatif de la configuration parcellaire de 1998 car aucun agrandissement de parcelles n'intervient. A l'inverse, les scénarios 7 et 8 poursuivent la tendance d'agrandissements observée entre 1981 et 1998. Ils correspondent à environ 20 réunions de parcelles par an choisies aléatoirement suivant des critères de taille et de distance, les parcelles plus ou moins éloignées et de petites et moyennes tailles étant choisies préférentiellement.

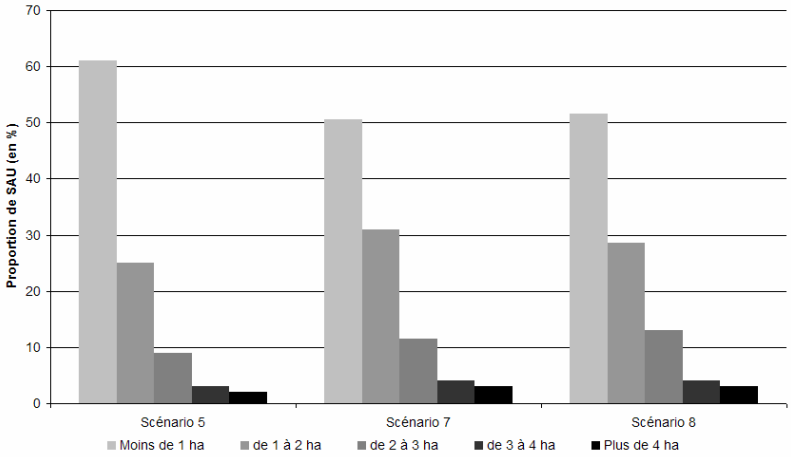


Figure 128. Répartition des tailles de parcelles de la SAU du Lestolet en 2020 pour les scénarios 5, 7 et 8

Il est logique de retrouver une répartition des tailles de parcelles de la SAU similaire à celle des scénarios 7 et 8 (figure 128). L'agrandissement du parcellaire engendre une modification non négligeable de la structure foncière : une surface de près de 100 ha (10% de la SAU) de très petites parcelles (moins d'1 ha) en 1998 est venue augmenter la part de parcelles de taille plus grande. Les proportions de SAU provenant de parcelles de tailles supérieures augmentent toutes elles aussi.

10.4.1.2. L'évolution de la densité bocagère

Le scénario 5, n'incluant pas l'agrandissement du parcellaire agricole, présente une perte de linéaire boisé qui se fondent dans les surfaces boisées (figure 129). L'évolution des friches en bois au sein des zones humides ne permet plus de distinguer les haies qui l'entouraient. Ainsi, la fermeture des zones humides de fonds de vallées engendre une baisse de la densité de 5m/ha[32].

Le scénario 7, par comparaison avec le scénario 5, montre un arasement important de linéaire boisé entre 1998 et 2006, provenant de l'agrandissement du parcellaire. Ensuite, la baisse suit la tendance observée dans le scénario 5. Ceci témoigne de l'importance de la

[32] Nous rappelons ici que les valeurs de densité présentées dans la figure 129 sont inférieures (environ -20 m/ha) aux valeurs calculées par SIG (mode vectoriel) en raison de l'utilisation de données transformées en mode raster pour les besoins de la simulation. Cela n'influe pas sur la différence observée entre la valeur initiale et le résultat final.

fermeture des zones humides dans l'évolution de la densité de la structure linéaire visible par photographie aérienne. Cette tendance est similaire, mais légèrement plus prononcée à certaines périodes (par exemple en 2011-2013 et 2018-2019) témoins du rôle de l'agrandissement du parcellaire. La perte totale est, après 22 ans, de 12 m/ha. Cela est concordant avec les tendances observées sur les communes du Lestolet (cf. figure 88 p. 165). Cela confirme aussi la décélération tendancielle de la baisse de la densité bocagère.

Le même constat peut être fait pour le scénario 8. La restauration des haies de ceinture provoque une forte hausse de la densité bocagère (+13 m/ha). La baisse issue de l'agrandissement parcellaire après 2006 est légèrement plus marquée que dans le cas des deux scénarios précédents. La densité finale est légèrement inférieure à la densité d'origine (-2 m/ha), mais avec une perte réelle de -15 m/ha. Il y a donc une redistribution spatiale d'une quantité non négligeable de structures linéaires boisées : les versants s'ouvrent et les fonds de vallées se boisent.

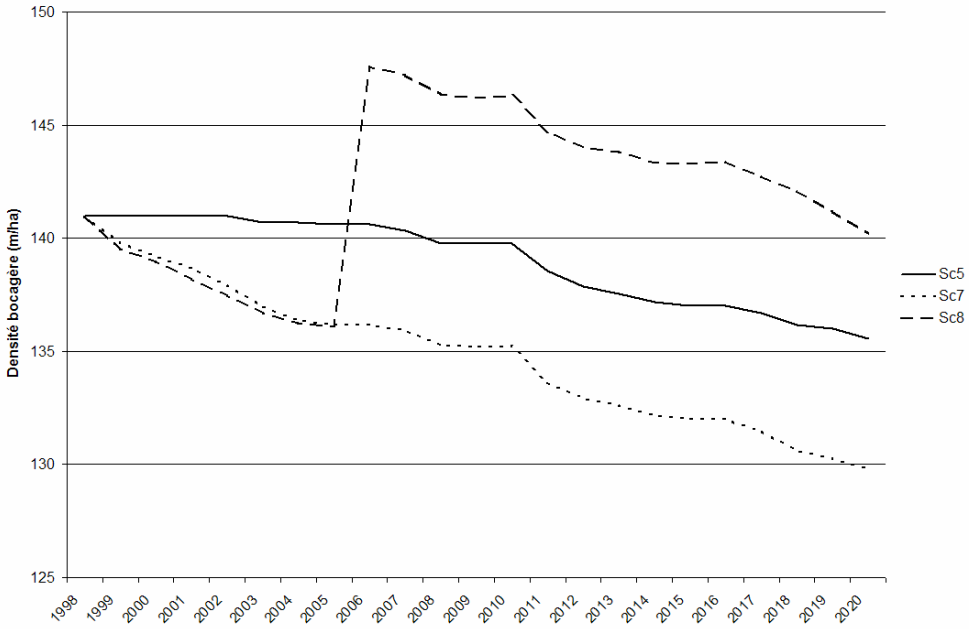
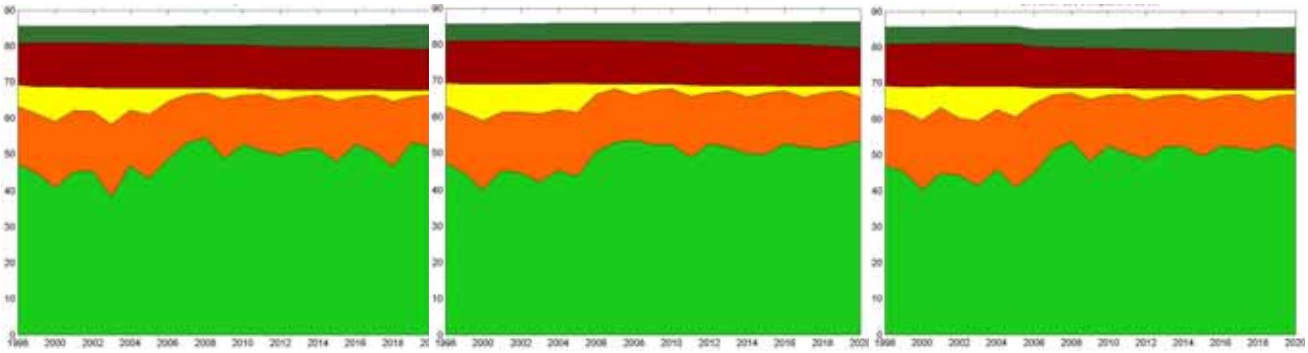


Figure 129. Evolution de la densité bocagère sur le bassin versant du Lestolet pour les scénarios 5, 7 et 8 entre 1998 et 2020

10.4.2. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols

L'évolution des assolements et de la structure foncière des exploitations est identique pour les scénarios 5, 7 et 8. Les deux derniers se distinguent du premier par la prise en compte de l'agrandissement du parcellaire agricole.

Logiquement, les tendances d'évolution des principales classes d'occupation des sols de la stratégie « Option Herbe » d'adaptation à la PAC (hausse des prairies au détriment des céréales) se distinguent pour les scénarios 5, 7 et 8 (figure 130).



Scénario 5
Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 « Option Herbe» et agrandissement des exploitations

Scénario 7
Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 « Option Herbe» et agrandissement des exploitations et du parcellaire

Scénario 8
Stratégie d'adaptation à la PAC 2006 « Option Herbe», agrandissement des exploitations, du parcellaire et restauration des haies de ceinture

Surfaces en herbe Maïs Blé / Oléo-protéagineux Friches Bois

Figure 130. Evolution des proportions des types d'occupation des sols à l'échelle du bassin versant du Lestolet entre 1998 et 2020 pour les scénarios 5, 7 et 8

Le tableau 30 présente, pour les scénarios 5, 7 et 8, l'évolution des proportions moyennes des principales classes d'occupation des pour les périodes 1998-2005, 2006-2013 et 2014-2020. Les variations liées à l'agrandissement du parcellaire sont relativement faibles (inférieures à 1%). Les scénarios 7 et 8 montrent que l'agrandissement du parcellaire peut favoriser soit l'augmentation de la proportion de cultures, soit celle des surfaces en herbe. Ceci s'explique par le tirage aléatoire des parcelles qui s'agrandissent. Par déduction, un agrandissement des parcelles les plus lointaines du siège d'exploitation tend à favoriser une légère hausse des surfaces cultivées, et inversement.

		Scénario 5			**Scénario 7**			**Scénario 8**		
Périodes		1998-2005	2006-2013	2014-2020	1998-2005	2006-2013	2014-2020	1998-2005	2006-2013	2014-2020
% du bassin versant	Prairies	43.9	51.1	50.6	44.0	51.8	51.4	43.8	50.0	51.6
	Maïs	17.2	14.7	15.1	17.2	14.9	14.8	17.6	16.1	14.6
	Céréales	7.5	2.4	2.0	7.9	2.2	2.3	7.7	2.5	2.0

Tableau 30. Evolution des proportions des principales classes d'occupation des sols sur trois périodes entre 1998 et 2020 sur le bassin versant du Lestolet pour les scénarios 5, 7 et 8

10.4.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs

Bien que l'agrandissement des parcelles agricoles ne soit pas obligatoirement synonyme d'augmentation de la proportion des cultures, il est significatif d'une augmentation de la surface potentielle en maïs. En effet, la surface recevant au moins une fois du maïs entre 1998 et 2020 est de 634 ha pour le scénario 5, contre respectivement 651 ha et 665 ha pour les scénarios 7 et 8.

La comparaison du scénarios 5 avec les scénarios 7 et 8 montre que la réunion de deux parcelles peut avoir des incidences différenciées (figure 131) : elle peut augmenter le nombre d'occurrences en maïs, ou à l'inverse, le diminuer. Dans le cas d'une réunion d'une parcelle susceptible de recevoir très souvent du maïs avec une parcelle adjacente qui en recueille

potentiellement moins souvent (plus petite par exemple), cette dernière voit ensuite le nombre d'occurrences en maïs augmenter. Mais la réciproque est vraie : certaines parcelles voient le nombre d'occurrences en maïs diminuer après agrandissement, et notamment celles qui sont relativement proches du siège d'exploitation.

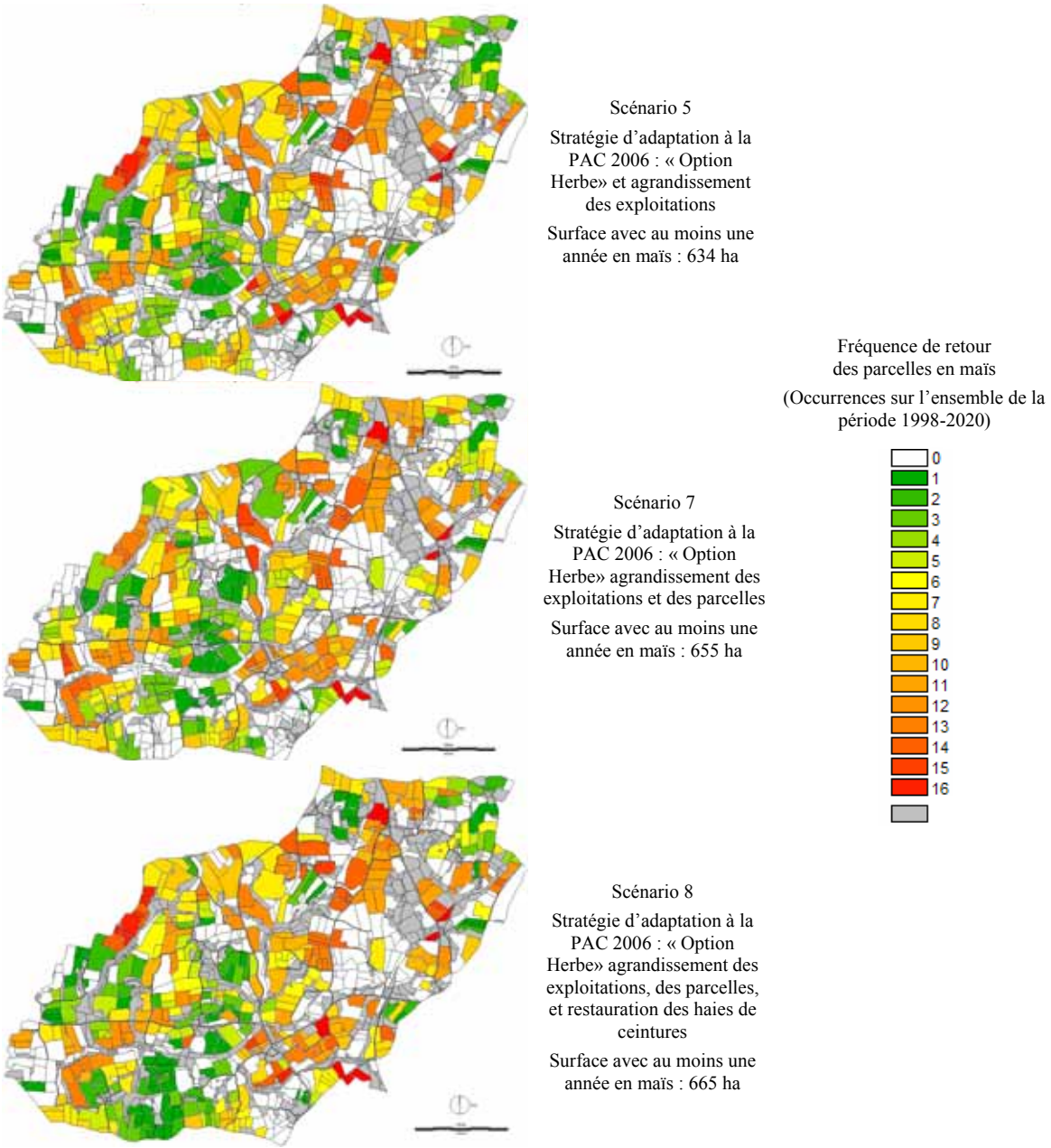


Figure 131. Cartes des occurrences en maïs des parcelles du Lestolet durant la période 1998-2020 pour les scénarios 5, 7 et 8

L'analyse de la figure 132 met en évidence que l'agrandissement des parcelles du Lestolet, entre 1998 et 2020, favorise une augmentation du nombre de parcelles ayant une fréquence de retour du maïs inférieure à une année sur trois. Cela provient à la fois d'une baisse de la fréquence sur certaines parcelles, mais aussi et surtout (notamment pour le scénario 8), d'une augmentation du nombre de parcelles recevant du maïs et qui n'en recevaient pas auparavant. L'augmentation de la surface potentielle en maïs est ici synonyme d'une baisse de la fréquence de retour en maïs.

Globalement, cette figure témoigne bien du fait que l'influence de l'agrandissement du parcellaire agricole a des répercussions variables sur l'évolution des fréquences de retour en maïs.

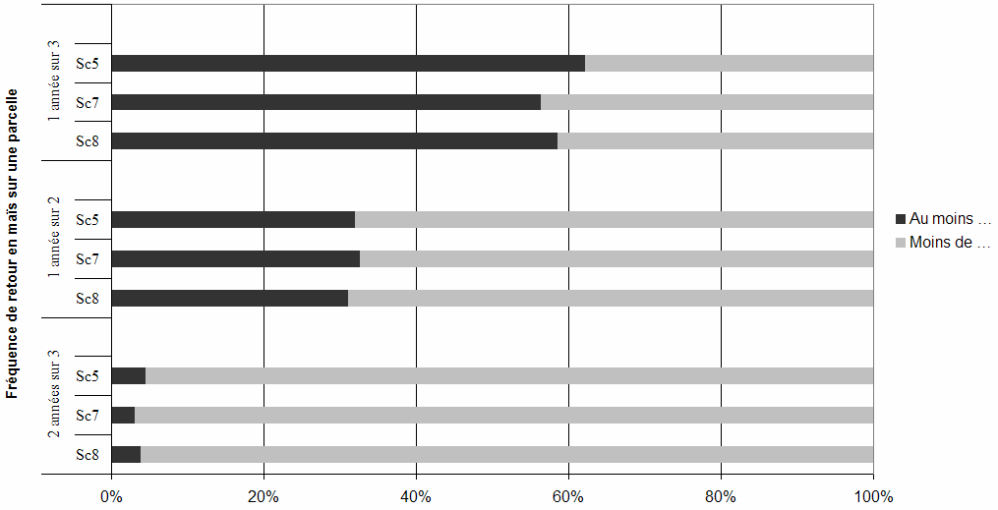


Figure 132. Proportions de surface potentielle en maïs sujette à recevoir une fréquence de retour définie pour les scénarios 5, 7 et 8 pour le bassin versant du Lestolet sur la période 1998-2020

L'agrandissement des parcelles agricoles modifie de façon non négligeable et non linéaire les règles d'allocation spatiale des occupations des sols à l'échelle de l'exploitation. Ces changements non linéaires sont accentués par l'influence de la reprise d'une exploitation par une autre sur les modes d'occupation des sols.

10.4.4. L'impact sur le rôle tampon du paysage

L'objectif de cette partie est d'évaluer l'impact des changements de la structure foncière sur le rôle tampon du paysage vis-à-vis des transferts de flux de surface et de sub-surface. Le couplage des résultats des scénarios avec les modèles Odissés et *LandBuf* permet de l'estimer.

10.4.4.1. L'évaluation du rôle tampon vis-à-vis des transfert de flux de surface

Le scénario 5 est représentatif des scénarios 1 à 4 : il n'y a pas de modification de la structure foncière (pas d'arasement ou d'implantation de haies) mais seulement des changements dans l'usage des sols (successions culturales, changements d'utilisateur des sols lors des agrandissements d'exploitations). Le modèle Odissés est appliqué sur la situation initiale en 1998 et les images en 2020 des scénarios 5 et 8 pour évaluer le rôle tampon de paysage du Lestolet sur les transferts de flux de surface.

La figure suivante (figure 133) localise les zones directement connectées au cours d'eau en tenant compte des structures boisées, de la topographie et des types d'occupation des sols. L'objectif étant d'évaluer spatialement et quantitativement l'impact des scénarios sur l'évolution des zones contributives, seules les parcelles susceptibles de recevoir des produits phytosanitaires (désherbant total) ont été prises en compte, à savoir les cultures, les prairies temporaires et permanentes ainsi que les friches. Sur cette figure, les zones contributives ont été différenciées suivant leur localisation : sur le versant où l'application de ce type de produits est commune par des hachures rouges ; dans les zones ripariennes où leur utilisation est supposée rare par des hachures blanches. Ces zones sont superposées sur les cartes d'occupation des sols correspondantes.

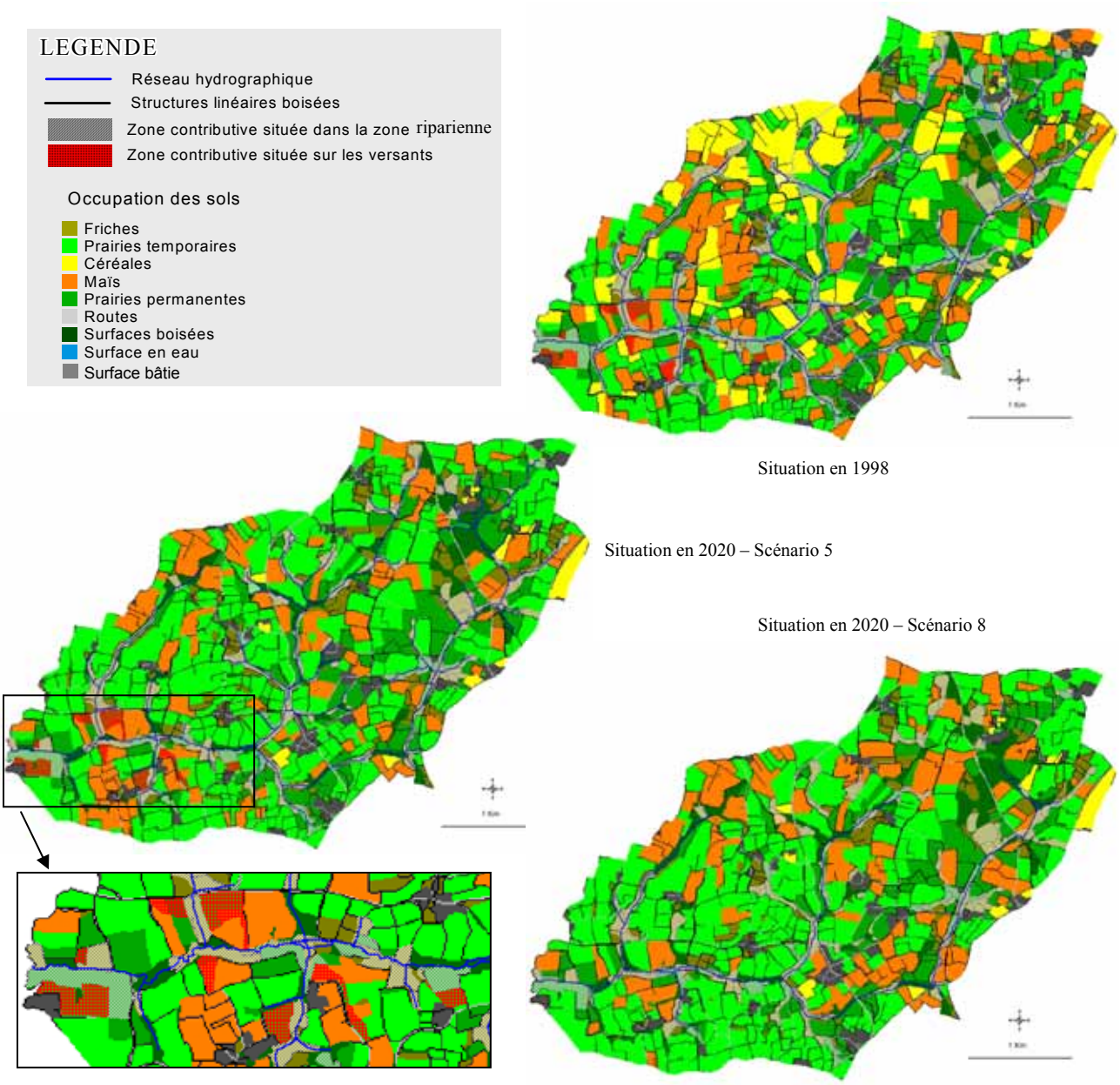


Figure 133. Localisation des zones directement connectées au réseau hydrographique du Lestolet d'après la situation initiale en 1998 et les images en 2020 des scénarios 5 et 8

D'une façon générale, dès 1998, le bassin versant du Lestolet ne présente qu'une très faible zone contributive potentiellement à risque vis-à-vis des flux de surface (sur les versants). Les parcelles concernées se localisent dans la partie aval du bassin versant, près de l'exutoire (figure 133).

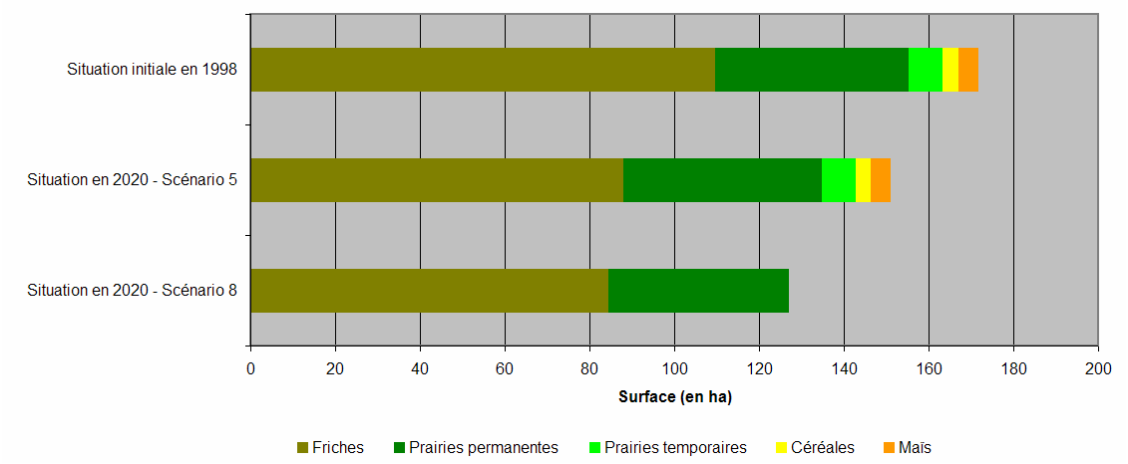


Figure 134. Surfaces de types d'occupation des sols situées dans les zones contributives des transferts de flux de surface en 1998 et en 2020 pour les scénarios 5 et 8

La figure 134 montre que, d'une part, la fermeture des zones humides réduit la surface contributive totale et, d'autre part, que les 16,3 ha de zones contributives situées sur les versants ont disparu suite à la restauration des haies de ceinture (scénario 8)

10.4.4.2. L'évaluation du rôle tampon vis-à-vis des transfert de flux de sub-surface

Si le risque lié aux transferts de flux de surface est très faible pour le Lestolet et dépend des structures boisées, il n'en est pas de même pour les transferts de sub-surface. Le type d'occupation des sols, la distance au cours d'eau, le type de sols et les structures boisées jouent un rôle sur le risque de pollution par les flux de sub-surface. Ce risque est dépendant des pratiques agricoles liées aux différents types d'occupation des sols (fertilisation, retournement de prairies suivi d'amendements…), c'est-à-dire des quantités d'azote restituées aux sols.

Le couplage, avec le modèle *LandBuf*, des résultats des scénarios 5, 7 et 8 a pour objectif d'évaluer l'influence des changements des modes d'occupation des sols et des structures paysagères sur le risque lié aux transferts de flux de sub-surface. Etant donné que les modes d'occupation des sols évoluent de façon quasi-stochastique (choix aléatoire des parcelles susceptibles de recevoir tel ou tel autre type d'occupation du sol), ce risque est difficilement comparable d'un scénario à un autre. Un indice de risque moyen a été dérivé : pour chacun des scénarios, le modèle est appliqué pour chaque année sur l'ensemble de la période 1998-2020. Les cartes annuelles de risque sont ensuite moyennées pour obtenir une carte discrétisée en cinq niveaux de risque (faible à très fort).

Tout d'abord, les résultats (figure 135) présentent un bassin versant qui, quelque soit le scénario, est caractérisé par un niveau de risque modéré. C'est entre 73 et 75% de la surface du bassin versant qui est à risque modéré ou faible. La configuration paysagère est quasiment optimale. Toutefois, aux vues des concentrations en nitrates du Lestolet pouvant atteindre parfois près de 40 $mg.l^{-1}$, cela signifie que ce bassin versant est extrêmement sensible vis-à-vis des pratiques agricoles. Le contexte granitique très filtrant constitue une des raisons probables de ces concentrations.

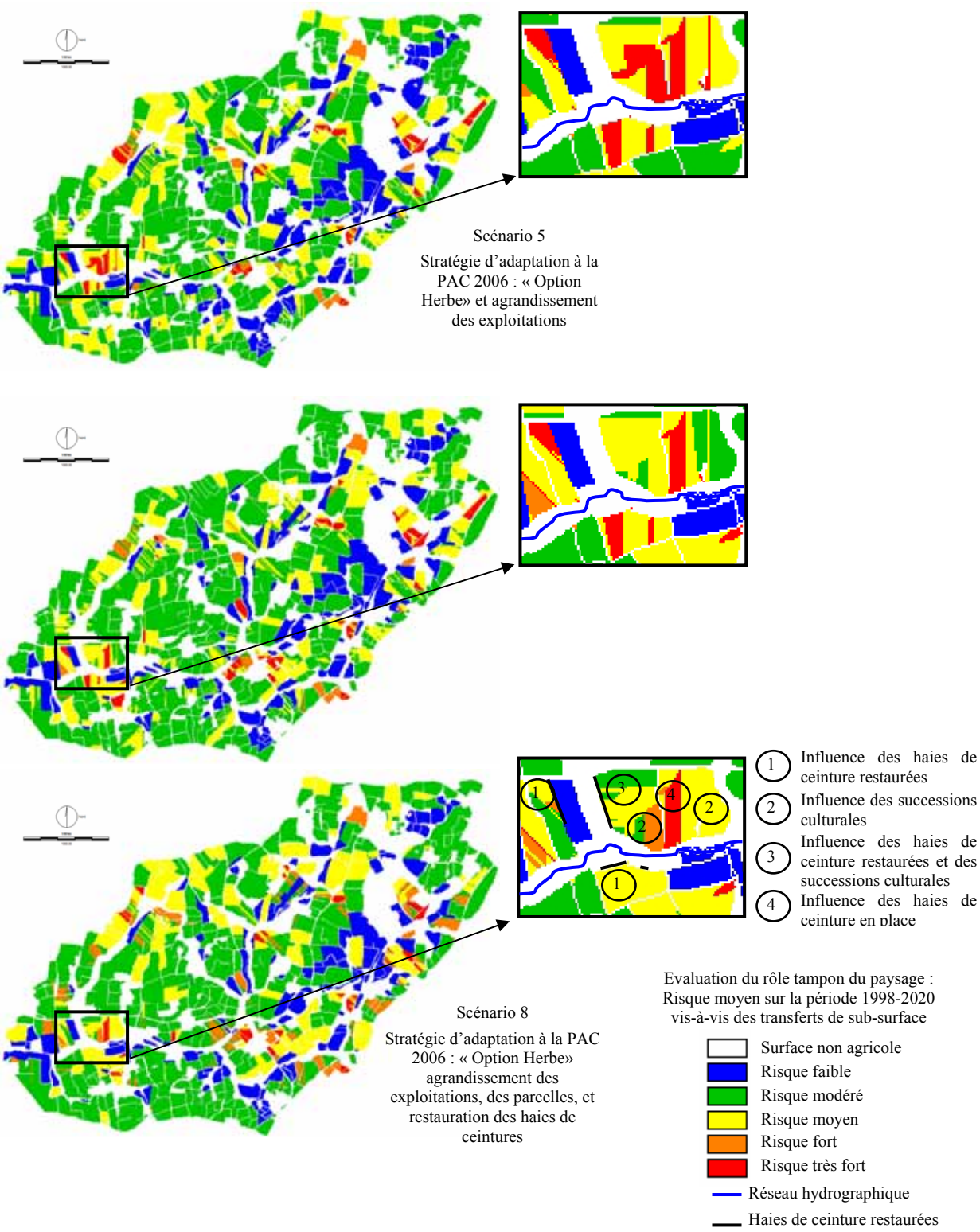


Figure 135. Cartes de risque moyen vis-à-vis des transferts de flux de sub-surface sur le Lestolet issues des scénarios 5, 7 et 8 pour la période 1998-2020

Ensuite, l'analyse comparative des cartes de risque moyen des scénarios 5, 7 et 8 montre l'influence respective des modes d'occupation des sols et des structures linéaires boisées sur le risque lié aux transferts de flux de sub-surface. Nous nous appuyons sur les

exemples de la figure 135 pour les illustrer (encadrés de droite focalisant sur des exemples précis). La comparaison des trois scénarios met en évidence :

- En 1 (dans les encadrés), l'influence très localisée de la restauration des haies de ceinture réalisées dans le scénario 8. La présence d'une haie fait donc baisser le niveau de risque d'une classe ;
- En 2, l'influence des successions culturales sur le niveau de risque. Il est d'autant plus fort que les successions présentent de fortes fréquences de retour en maïs ;
- En 3, l'influence cumulée des successions culturales et de la restauration d'une haie de ceinture ;
- Enfin en 4, l'influence de la distance au cours d'eau. Corrélée avec la présence d'une haie de ceinture, elle permet de réduire le niveau de risque sur une portion de parcelle à risque très élevé.

10.4.5. Synthèse de l'influence des changements de la structure spatiale du parcellaire

L'influence des changements de la structure spatiale du parcellaire sur l'évolution des modes d'occupation des sols se traduit par une modification non négligeable et non linéaire des règles d'allocation des modes d'occupations des sols à l'échelle de l'exploitation agricole.

Toutefois, les répercussions sur les risques de transfert de flux polluants sont minimes car le rôle tampon du Lestolet est quasiment optimal. Sur le plan des transferts de flux de surface, les zones contributives correspondent essentiellement aux zones humides de fonds de vallées, les versants étant quasiment totalement déconnectés. La restauration des haies de ceinture optimise encore ce rôle tampon, même si les versants s'ouvrent de plus en plus avec l'agrandissement du parcellaire. Au niveau des transferts de flux de sub-surface, les facteurs prépondérants sont le type d'occupation des sols et les pratiques associées. Le rôle des haies de ceinture est réel mais elles ont une influence très localisée. Ainsi, la densité et la configuration du réseau sont telles que le risque moyen n'est pas réellement modifié à l'échelle du bassin versant.

10.5. Conclusion partielle

Synthèse de l'influence des facteurs de changements sur l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols

Les simulations effectuées avec L1 montrent que l'influence de la PAC a des répercussions variables sur l'évolution des modes d'occupations des sols selon les sites d'études et les différentes stratégies possibles d'adaptation à la réforme de la PAC de 2006 :

- En terme de « quantité de changements », les sites du Lestolet et du Stang Varric semblent plus sensibles aux stratégies « Option Herbe » et « Option Cultures » que le Coët-Dan.
- Les deux stratégies « Option Herbe » et « Option Cultures » tendent à faire légèrement baisser la part en maïs à l'échelle des sites d'étude : de 2 à 5%.
- La stratégie « Option Herbe » tend plutôt à faire diminuer la surface susceptible de recevoir du maïs et à ralentir légèrement la fermeture des zones humides de fonds de vallées alors que la stratégie « Option Cultures » tend à faire baisser la fréquence de retour en maïs et n'a pas de réelle influence sur la fermeture des zones humides, comparativement aux tendances actuelles.

Les changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols à l'échelle d'un territoire agricole tel qu'un bassin versant, dépendent essentiellement de la mosaïque des exploitations agricoles. Cette mosaïque se caractérise à la fois par les différents systèmes de production, par la structure foncière des exploitations et leur imbrication. Ce *patchwork* d'exploitations, par sa configuration géométrique et la diversité (ou non) des systèmes de production, explique les changements complexes et non linéaires des modes d'occupation des sols d'un site à un autre.

L'agrandissement des exploitations agricoles influence les « quantités de changements » et la distribution spatiale des modes d'occupation des sols. Il tend à :

- faire baisser d'environ 3% la part de surfaces en herbe à l'échelle du Lestolet quelle que soit la stratégie d'adaptation à la réforme de la PAC de 2006 ;
- regrouper les surfaces cultivées en îlots de parcelles engendrant des risques d'arasement pour les haies situées entre ces parcelles ;
- accélérer la fermeture des zones humides de fonds de vallées de façon équivalente pour les trois stratégies ;

Les changements liés à l'agrandissement des exploitations agricoles sont plus subtils mais restent potentiellement dommageables pour les ressources en eau. L'effet cumulé de l'agrandissement foncier et de l'évolution des assolements liés à la PAC engendre des changements qui ne sont pas linéaires et donc d'autant plus difficiles à anticiper à l'échelle d'un bassin versant.

L'agrandissement des parcelles agricoles modifie les règles d'allocation spatiale des types d'occupation des sols à l'échelle de l'exploitation agricole. Ces changements, non linéaires, sont accentués lors des changements qui interviennent au niveau des structures foncières des exploitations agricoles.

L'évaluation du rôle tampon du paysage vis-à-vis des transferts de flux de surface et de sub-surface a mis en évidence le poids des types d'occupation des sols sur le risque de pollution des ressources en eau. Ceci renforce l'importance de la quantification et de la localisation des changements futurs des modes d'occupation des sols.

Préconisations

La détermination et l'analyse des changements possibles à long terme permettent d'émettre un certain nombre de préconisations pour une gestion de l'eau tenant compte de leurs effets potentiels à l'échelle locale et dans le temps.

Le *patchwork* des exploitations agricoles, par sa configuration géométrique et la diversité des systèmes de production, explique les changements complexes et non linéaires des modes d'occupation des sols d'un site à un autre. Cela concorde avec les conclusions de Viaud (2004) qui montre la nécessité de prendre en compte la totalité des territoires d'exploitations partiellement incluses dans un bassin versant pour une gestion efficace de l'eau. Ainsi, un agriculteur dont l'exploitation est située en limite de bassin versant, peut faire évoluer la distribution des modes d'occupation des sols sur ses parcelles de façon à favoriser ses pratiques agricoles sur un des bassins versants, mais au détriment d'un autre. **La gestion durable de l'eau passe donc par la prise en compte de tous les échelons d'organisation concernés et ne doit pas se limiter à l'échelle du bassin versant étudié.**

De même, **les changements possibles à moyen et long terme (20-30 ans) d'un territoire donné et leurs répercussions potentielles sur les ressources en eau doivent être pris en compte dans les processus actuels de gestion de l'eau. Cette démarche peut aider à mettre en place des solutions durables et efficaces localement**. Par exemple, l'évaluation du rôle tampon du bassin versant sur les transferts de flux de surface et de sub-surface peut renforcer des conseils en matière de pratiques agricoles (pratiques de fertilisation,…) et d'aménagements spécifiques (restauration de haies de ceinture, bandes enherbées, etc.) et désigne les parcelles devant en bénéficier. Ainsi, les cartes de fréquences de retour en maïs permettent de situer les parcelles où la sensibilisation vis-à-vis de pratiques raisonnées, d'implantation de couverts hivernaux, etc.… doit être maximale. Le conseil peut aller plus loin en incitant à modifier l'allocation spatiale des cultures afin de faire baisser la fréquence de retour du maïs dans les parcelles, ou de diminuer le nombre de parcelles de maïs situées à proximité du cours d'eau. **Ce type d'indicateurs de risque représenté sous forme cartographique oriente précisément le type de conseil à réaliser en tenant compte des influences possibles de la réforme de la PAC de 2006, de l'agrandissement des exploitations agricoles et des changements du parcellaire à moyen et long terme.**

Mais au-delà de la localisation de zones à risque où les conseils et la sensibilisation peuvent être effectuées, **l'enjeu le plus important porte sur la gestion du foncier.** En effet, la sensibilité d'un bassin versant vis-à-vis des transferts de flux polluants dépend de ses caractéristiques propres (pédologie, géologie, configuration du réseau hydrographique) sur lesquelles il est difficile voire impossible d'intervenir, mais aussi de la configuration foncière des exploitations vis-à-vis du chevelu hydrographique. De façon simplifiée, plus un siège d'exploitation est proche d'une vallée, plus les prairies permanentes humides sont utilisées (suivant des pratiques et un pâturage contrôlés) et plus les cultures sont éloignées du cours d'eau. Bien évidemment, il est complètement illusoire de vouloir restructurer la mosaïque des exploitations. Mais, **il existe aujourd'hui des outils** (aménagements fonciers, etc.) **et des organismes** (SAFER, communes…) **avec lesquels les gestionnaires de l'eau peuvent travailler de façon à intervenir concrètement dans un nouveau compartiment de la gestion spatiale de l'eau : l'organisation foncière des exploitations**.

En tout état de cause, les scénarios prospectifs exploratoires spatialisés, s'ils ne sont pas les seuls à mettre en avant les moyens à mettre en œuvre pour une gestion de l'eau efficace dans le temps et dans l'espace, permettent d'y contribuer.

CHAPITRE 11 - Les scénarios prospectifs normatifs spatialisés à l'échelle locale

Comparativement aux scénarios exploratoires, les scénarios normatifs, ou *backcasting*, reposent sur des principes conceptuels et de construction foncièrement différents.

Sur le plan conceptuel, l'objectif est de produire des images volontairement très contrastées, répondant à des normes de désirabilité opposées. D'une façon caricaturale, ils sont souvent représentés par des scénarios résolument pessimistes et optimistes : un scénario « noir » à éviter absolument et un scénario « rose » à atteindre par tous les moyens. L'intérêt dans la production de ce type de scénario ne tient pas dans l'évitement ou l'atteinte d'une des deux situations finales, mais plutôt dans la mise à jour de l'ensemble des conditions nécessaires à leur réalisation. Des scénarios très contrastés de ce type maximisent la dimension des futurs possibles d'un territoire et permettent de mettre en exergue les compromis et synergies à mettre en place pour une gestion durable de l'eau. Dans le cas d'une approche *backcasting*, la spatialisation des scénarios à l'échelle locale a pour objectif d'illustrer les *images* des scénarios à différentes dates, de localiser et de quantifier les changements d'occupation des sols et des structures paysagères, … Plus précisément, il s'agit de mettre les acteurs locaux et gestionnaires de l'eau en situation, de les ancrer dans un contexte territorial concret et vécu (par les acteurs locaux), afin d'identifier, de comprendre et de discuter des besoins et des moyens à mettre en œuvre pour une gestion de l'eau qui soit efficace localement et durable pour les milieux et les hommes.

Sur le plan méthodologique, la construction des scénarios normatifs s'effectue de façon rétrospective : les images contrastées constituent les situations finales à partir desquelles les cheminements sont reconstitués jusqu'à parvenir à la situation initiale. Une image intermédiaire décrite à « mi-parcours » permet de retracer les évolutions de façon diachronique. Les scénarios sont donc constitués de récits d'évolution restitués chronologiquement, les *cheminements*, ponctués d'*images* spatialisées et commentées.

Dans le cas du Lestolet, la mobilisation des acteurs a permis la réalisation de ce type de scénarios. Nous sommes partis d'hypothèses très contrastées des composantes du paysage (bocage, zones humides et occupation des sols) pour construire trois images distinctes du territoire du Lestolet, et par corollaire, trois scénarios normatifs spatialisés.

Dans un premier temps, les scénarios prospectifs sont exposés. Cela nécessite tout d'abord de décrire l'*image initiale*, point de départ des trois scénarios. Ensuite chacun d'eux est présenté suivant le déroulement suivant : récit de l'évolution entre 2005 et 2014, image du intermédiaire en 2014, récit d'évolution entre 2014 et 2027 et image finale en 2027.

Dans un second et dernier temps, les impacts des scénarios sur l'évolution des usages des terres et sur l'environnement sont évalués et comparés quantitativement.

11.1. Les scénarios prospectifs normatifs spatialisés

11.1.1. L'image du Lestolet en 2005

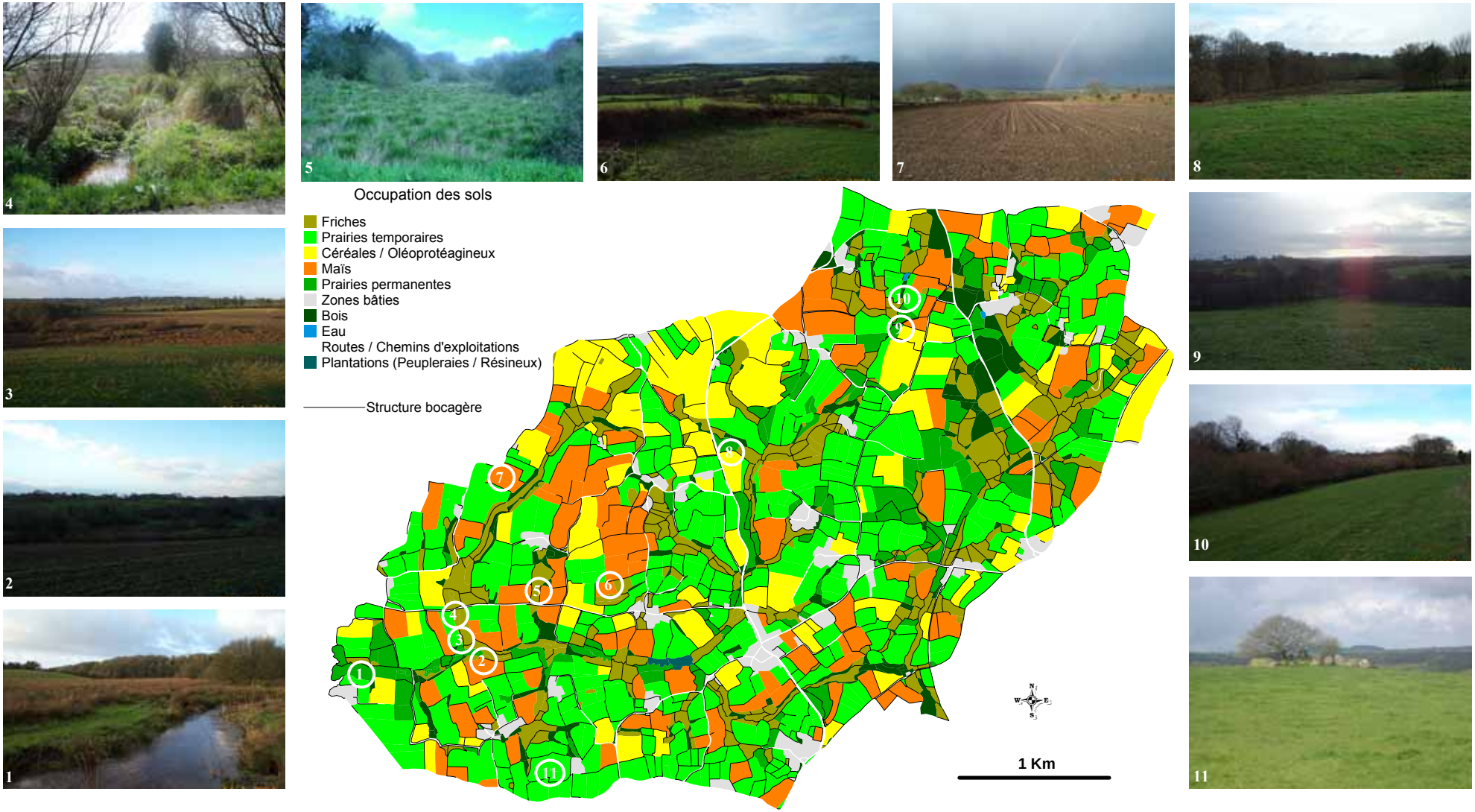
Le bassin versant du Lestolet est un sous bassin versant du Haut-Blavet sujet à un programme de reconquête de la qualité de l'eau (BEP 3). La retenue de Kerné Uhel située à l'aval du Haut-Blavet constitue une zone d'alimentation en eau potable stratégique pour les départements des Côtes d'Armor et du Morbihan connaissant des pollutions par les nitrates depuis plus d'une dizaine d'années (39 $mg.L^{-1}$ en septembre 2003). Le Syndicat Mixte de Kerné Uhel (SMKU) est le porteur de projet du programme BEP 3 à l'échelle locale, et travaille en collaboration avec les conseillers agricoles de la Chambre d'Agriculture des Côtes d'Armor.

La mise en place du SAGE du bassin versant du Blavet a pour objectif de parvenir à un bon état de la ressource en eau et des milieux aquatiques à l'horizon 2015. Dans le cadre de la mise en place du volet prospectif du SAGE Blavet, une étude a mis en évidence les facteurs qui expliquent les changements des modes d'occupation des sols et des structures paysagères ayant un impact sur l'évolution de la qualité des eaux. Elle a montré les tendances d'évolution du bocage, des zones humides et des modes d'occupation des sols, a spatialisé et quantifié précisément ces changements et, enfin, a démontré que l'exploitation agricole est l'échelon d'organisation clef à prendre en compte dans l'évolution des paysages agricoles à l'échelle du bassin versant.

Ainsi entre 1981 et 1998, sur le Lestolet, la proportion de maïs et de céréales a augmenté, la densité bocagère a régressé de 20m/ha et une partie des zones humides de fonds de vallées ont été abandonnées. En 1998, le bassin versant du Lestolet s'inscrit dans une région d'élevage où la production laitière est dominante et souvent accompagnée de production de viande bovine et de quelques ateliers granivores (avicole ou porcin). Il présente une forte densité bocagère (123m/ha, soit 170 km de linéaire bocager), une forte proportion des zones humides (220 ha soit 16% du bassin versant), où les friches sont en pleine expansion (123 ha) au détriment des prairies permanentes (40 ha). Les parcelles boisées humides totalisent 57 ha. L'occupation agricole des sols est dominée par les surfaces en herbe (578,6 ha de prairies temporaires et 40 ha de prairies permanentes, soit 45% du bassin versant), le maïs (224,2 ha) et les céréales (200,1 ha).

Entre 1998 et 2005, les modes d'occupation des sols et des structures paysagères ont très peu évolué. Le SAGE n'a pas encore adopté de stratégie prospective. Les agriculteurs attendent de connaître l'ensemble des modalités de la réforme de la PAC de 2006 pour changer leur système de production ou le maintenir. L'image du Lestolet en 2005 est approximativement la même que celle de 1998, avec des modifications traduites essentiellement par l'augmentation de la couverture hivernale des sols.

Cette image est illustrée par la figure suivante (figure 136).



1 : Partie aval du ruisseau du Lestolet, bordé de prairies permanentes à *Juncus effusus* pâturées. **2 :** Zone humide de fonds de vallées à fond plat, accessible et pâturée. **3 :** Friche très humide à Magno-Cariçaie parcourue par des flux transversaux (absence de haies de ceinture) et longitudinaux (zone aval de bassin d'ordre 1). **4 :** Zone amont de la parcelle précédente avec au premier plan le ruisseau et des touradons (Magno-carex). **5 :** Parcelle très humide de Magno-cariçaie avec développement de quelques saules et aulnes. **6 :** Vue générale en direction du SO du bocage du Lestolet (talus et haies sur talus). **7 :** Petite parcelle de sol nu après maïs entourée de talus et de haies sur talus. **8 :** Prairie permanente partiellement située en zone humide de fonds de vallée présentant une très forte densité de *Juncus effusus*. **9 :** Vue sur un vallon situé en amont du bassin versant avec une zone de résurgence en aval de la parcelle. **10 :** Vallon étroit boisé de chênes, hêtres et saules. **11 :** Zone sommitale avec nodules granitiques regroupés et témoignant des travaux d'amélioration de la qualité des sols des années 1970-80.
Photos : Thomas Houet – 14/01/2004 et 14/04/2005

Figure 136. L'image du Lestolet en 2005

11.1.2. Le scénario A : « Gestion fonctionnelle et durable du Lestolet par les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau »

11.1.2.1. La période 2005-2014 : Le volontarisme au service du développement durable

En novembre 2005, les modalités de la PAC de 2006 sont enfin révélées et les agriculteurs découvrent le montant des primes qu'ils toucheront annuellement jusqu'en 2013-2014, calculées à partir des productions réalisées entre 2000 et 2002. Le système complexe du Droit à Paiement Unique (DPU) incite les agriculteurs à produire la même quantité de céréales pour conserver 100% des « Aides Grandes Cultures ». Le prix du blé sur le marché mondial poursuit, en 2006, la tendance à la baisse observée les années précédentes. Les agriculteurs du Lestolet sont éleveurs avant tout. Leur niveau technique est moins développé en matière de production végétale. Tout concorde pour ne pas engendrer de modification immédiate des assolements au niveau de leur système de production.

Le SAGE Blavet est adopté au cours de la même année. Le SMKU s'étant lancé dans une politique forte en matière de gestion des zones humides de fonds de vallées et du bocage, trouve dans la mise en place du SAGE un nouveau soutien politique et financier. Le temps est à l'action et l'état diagnostique effectué (des inventaires précis et exhaustifs ont été déjà réalisés entre 2002 et 2004) leur permet d'agir dès la fin 2006 - début 2007 sur le Lestolet. L'objectif de ces actions est clair : il vise l'efficacité maximale du rôle fonctionnel des zones humides de fonds de vallées. Cet objectif se décline en plusieurs points :

- La reconquête maximale des zones humides connue à ce jour (limite de 1952) qui se traduit par la restauration du caractère hydromorphe de certaines parcelles par de petits aménagements hydrauliques ;

- La restauration des prairies permanentes par le défrichement et le déboisement des parcelles dont la fonction épuratrice et la richesse faunistique et floristique sont faibles ou moyennes ;

- La réalisation d'opérations de protections pérennes (clôtures) des cours d'eau afin d'éviter que le cheptel y divague ;

- La sauvegarde et la restauration des haies de ceintures de fonds de vallées limitant les transferts de flux de surface et de sub-surface et augmentant le potentiel hydrologique du « château d'eau de la Bretagne ».

- La mise en place d'une stratégie de conseils et de communication à l'égard des agriculteurs et des propriétaires fonciers afin de mettre en évidence l'intérêt de gérer ces espaces, tant sur le plan environnemental (qualité de l'eau et des milieux), sociétal (meilleure accessibilité des zones de pêche et de chasse) qu'économique (respect du principe d'éco-conditionnalité assurant un DPU maximal, défiscalisation partielle…).

Une structure partenariale (SAGE Blavet, SMKU, Chambre d'Agriculture, agriculteurs et élus locaux) est instaurée afin d'atteindre ces objectifs. Le choix est fait de ne pas « brusquer » le monde agricole en commençant par trois exploitations témoins et en entamant des démarches d'inscription des zones humides de fonds de vallées dans le Plan Local d'Urbanisme des communes concernées.

Trois exploitants se portent volontaires mais insistent sur le fait que « cette démarche doit être accompagnée d'une valorisation et d'une réflexion plus profonde, car le contexte politico-économique ne leur est pas favorable : baisse des revenus et des primes liée, respectivement, à la nouvelle PAC et aux marchés, augmentation de leur charge de travail pour la gestion du bocage et des zones humides. On a déjà du mal à tout faire, mais si en plus on veut s'agrandir, là ce ne sera plus possible ! ». Deux exploitants produisent du lait et de la viande bovine (taurillons), le troisième produisant du lait et des granivores (volailles de chair).

Le travail collaboratif avec la Chambre d'Agriculture apporte une nouvelle vision des possibilités de gestion du système de production, notamment avec les contraintes économiques de la PAC de 2006 et l'augmentation de leur SAU et de leur SFP liées à la restauration des prairies permanentes. Les trois agriculteurs reçoivent des conseils et des formations prises en charge par la

Chambre d'Agriculture ainsi que des Aides à la Reconversion par la Région et l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne. Les formations reçues leur permettent de faire des progrès en matière de technique d'élevage et de production végétale et de réduire ainsi leurs charges. Ils réduisent la taille de leur cheptel du fait de l'optimisation de la production laitière par vache (efficacité alimentaire, génétique). Ils amorcent en parallèle un changement progressif (sur 5 ans) de cheptel qui accompagne les modifications d'assolement. Le passage progressif à l'herbe amène les agriculteurs à adopter, de façon toute aussi progressive, soit la race Normande, soit la Montbéliarde, plus adaptée à cette alimentation que la Prime Olstein du point de vue « alimentation / production laitière par vache ». Durant ces 5 années, seule la part du maïs ensilage tend à baisser jusqu'à devenir nulle au bout de la troisième année. La production céréalière (blé, maïs grain, etc.) a été maintenue durant cette période pour continuer à percevoir 100% des Aides Grandes Cultures du DPU. Entre la quatrième et la cinquième année, les agriculteurs passent en gestion extensive avec un système « Tout Herbe ». Les exploitants poursuivent l'optimisation de la rentabilité de leur système de production en arrêtant la location de matériels agricoles, le recours à des entreprises de travaux agricoles pour le semis et/ou la récolte des cultures, l'achat d'intrants pour les cultures et en profitant des opportunités financières offertes par la nouvelle Loi Rurale adoptée le 30 janvier 2004 (défiscalisation à 50% des parcelles situées en zones humides qui sont entretenues). Les ateliers complémentaires sont soit arrêtés (cas du granivore), soit reconvertis en production de bœufs à viande (Charolais, etc.). Un des deux exploitants « Bovin lait et viande » arrête son atelier viande bovine car la réduction du chargement bovin lui permet d'augmenter légèrement ses terres épandables et de recevoir, moyennant finances, les déjections d'exploitations hors-sol situées dans le canton toujours en Zone d'Excédent Structurel. Dès 2010, le revenu des exploitants est légèrement amélioré, et la réduction de leur charge de travail est considérable : ils deviennent de plus en plus performants. On assiste ainsi à une spécialisation de la production des exploitations témoins vers la production laitière ; Au final, elles ont conservé leur niveau d'intensivité mais sont passées à un mode de gestion extensif.

Durant la période 2006-2010, le SMKU, soutenu par le SAGE Blavet, a tout d'abord massivement informé les populations locales sur l'intérêt des zones humides de fonds de vallées, du bocage, et des opérations d'aménagements fonciers en général pour la reconquête de la qualité de l'eau et des milieux, à travers son courrier local « Au fil de l'Eau ». Les opérations les plus urgentes (protections des cours d'eau et restauration de quelques haies de ceintures stratégiques) ont été réalisés. Quelques opérations de défrichements et de déboisements réalisées à partir de l'inventaire des zones humides du Haut-Blavet, ont été effectuées sur des parcelles au propriétaire non identifié ou volontaire. Certaines friches et landes sont conservées et entretenues pour leur potentiel dénitrifiant et leur richesse patrimoniale (mégaphorbiaies, magno-cariçaie, landes humides). Les zones humides de fonds de vallées finissent par être inscrites au PLU après 4 années de procédure.

Les autres agriculteurs du bassin versant n'ont, jusqu'alors, pas changé leur système de production -végétale ou animale- pour conserver les primes aux céréales. Les résultats obtenus sur les trois exploitations sont présentés à l'ensemble des exploitants du Haut-Blavet lors d'une journée de démonstration organisée en 2010 par la CA22 et soutenue par le SMKU et le SAGE. Les résultats sont analysés au niveau des plans de charge de travail et du point de vue économique (estimations des retombées financières, des investissements du nouveau système de production et simulations « temps/coûts » en cas d'adoption du système présenté). La mobilisation des agriculteurs est totale lors de cette journée car les cours du blé continuent de chuter et parce qu'une bonne partie d'entre eux ont perdu une partie de leurs aides, en raison du non respect du principe d'éco-conditionnalité. L'agrandissement des exploitations ne permet plus aux exploitants de gérer et d'entretenir eux-mêmes l'ensemble du territoire de leur exploitation en particulier les zones humides de fonds de vallées. De plus, les crises sanitaires (grippes aviaires) de 2006 et 2008 ont sérieusement touché les producteurs de lait+volaille. Près de la moitié des agriculteurs du Haut-Blavet, dont 40% des agriculteurs du Lestolet, sont convaincus par les arguments présentés et adoptent un changement de système de production en se recentrant vers la valeur refuge, le lait.

2012 est une année charnière dans l'évolution des exploitations agricoles : la gestion du DPU historique fondée sur les productions d'années de référence étant trop complexe, la France rejoint l'Angleterre, les Pays-Bas et d'autres pays de la CE en adoptant le principe du découplage total et de la mutualisation des aides. La Région devra à l'avenir gérer les subventions de la PAC : quelque soit le montant des primes allouées, celles-ci seront indépendantes des cultures implantées. Cette « pseudo réforme » de la PAC à l'échelle nationale prend effet en 2014.

Entre 2010 et 2014, on observe ainsi une forte augmentation de la part de prairies à l'échelle du bassin versant. Le SMKU aide les agriculteurs à reconquérir les prairies humides par des défrichements et des déboisements de chênaies/hêtraies et les agriculteurs entament leur changement de système de production (augmentation de la part d'herbe au détriment du maïs) en convertissant tout d'abord des terres arables anciennement humides en prairies permanentes hydromorphes à l'aide de petits aménagements hydrauliques autour desquels des haies de ceinture sont implantées. Les intérêts du SMKU et des agriculteurs sont convergents : reconquérir l'ensemble des zones humides potentielles et augmenter les zones humides efficaces sur le plan fonctionnel; avoir des parcelles très productives en fourrages toute l'année. Toutefois, quelques divergences apparaissent quant à la gestion du bocage : l'implantation de nouvelles haies de ceinture financée par les gestionnaires de l'eau constitue une charge de travail supplémentaire pour les agriculteurs. Afin de valoriser leur démarche, les agriculteurs demandent un label rouge « Produits du Développement Durable en Centre Bretagne » pour les productions laitières et de viande bovine.

11.1.2.2. L'image du Lestolet en 2014 : un bassin versant extensif, aux zones humides en voie de réouverture et au bocage restauré et préservé

En 2014, le bassin versant du Lestolet présente près de 770 ha de prairies temporaires, 130 ha de prairies permanentes (contre 41 en 2005) et respectivement 109 et 88 ha de maïs et de céréales.

La densité bocagère a sensiblement augmenté en raison de la restauration de haies de ceinture, atteignant 129 m/ha, soit 178 Km de linéaire bocager.

Les zones humides de fonds de vallées ont gagné près de 40 ha et totalisent une superficie de 260 ha, dont 131 ha de prairies permanentes, 73 ha de friches et 56 ha de bois. Les prairies humides fauchées sont beaucoup plus nombreuses, avec un mode de gestion basé sur un pâturage extensif dès le printemps, augmentant leur potentiel dénitrifiant et la fauche. Les friches et bois au fort pouvoir épurateur (magno-cariçaies, saulaies, aulnaies) et d'intérêt patrimonial (landes et landes boisées humides) sont conservées et entretenues.

Les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux du monde agricole ont des intérêts communs et s'entraident. Les néo-ruraux ou les étrangers qui cherchent à s'installer en Centre Bretagne on eu connaissance de l'évolution du cadre de vie de cette région à travers le site Internet http://www.haut-blavet-ici-bien-vivre-en-developpant-durablement.fr.

La richesse des milieux humides s'améliore sensiblement ainsi que la qualité de l'eau qui fluctue désormais autour des normes de l'OMS (25 mg.L-1). Les objectifs de la DCE sont presque durablement atteints pour le SAGE Blavet.

Cette image est illustrée par la figure suivante (figure 137).

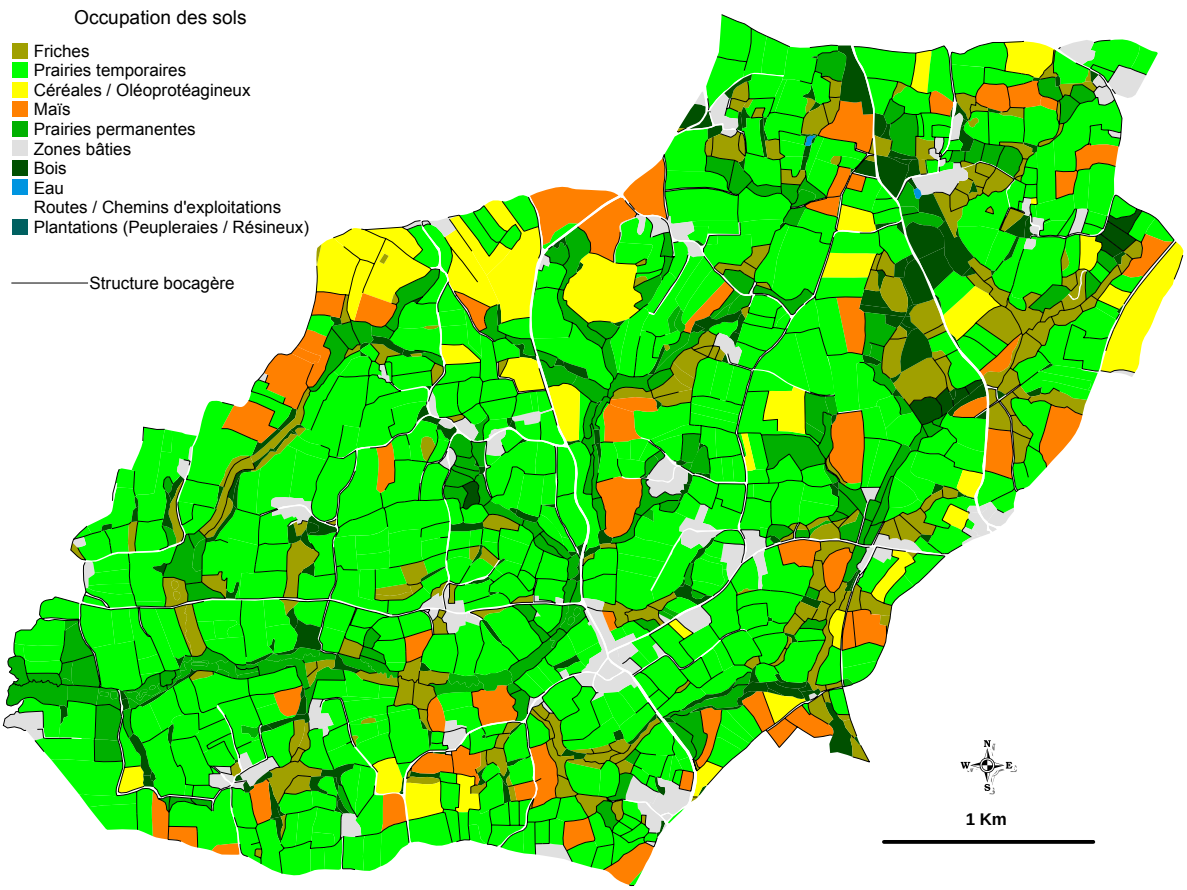


Figure 137. L'image du Lestolet en 2014 d'après le scénario A

11.1.2.3. La période 2014-2027 : Un développement territorial durable et efficient

En 2014, le système d'aides de la PAC 2006 n'est pas remis en cause et est prolongé jusqu'en 2022 grâce à la présidence de la France à la Communauté Européenne. Seules les modalités de d'attribution de subventions ont évolué. Elles sont désormais assurées par les Régions, dont le rôle « d'échelon stratégique de la CE » pour le développement local est renforcé. Rassurés face aux rumeurs de suppression des subventions de la Politique Agricole Commune après 2014, les agriculteurs du Haut-Blavet qui n'avaient pas encore adopté la démarche de changement de système de production y adhèrent.

L'exploitation porcine située dans le Nord du Lestolet était fondée sur une stratégie « Priorité cultures ». Les productions végétales étaient basées sur le blé et le colza dont la vente permettait l'achat des matières premières nécessaires à l'alimentation du cheptel porcin. La conjoncture économique n'étant pas favorable et le montant des primes étant alloué à l'hectare (et non plus à la culture), il devient plus rentable pour l'exploitant de remplacer les céréales et oléo-protéagineux par de l'herbe. Les investissements (location de matériels agricoles, achats d'intrants et de produits de traitements…) ne sont pas compensés par la vente du blé en raison des cours trop bas.

En 2015, le canton est déclassé, n'est plus en excédent structurel, et le label rouge « Produits du Développement Durable en Centre Bretagne » est obtenu l'année suivante. Quelques exploitants valorisent leur activité à l'aide de la réhabilitation de corps de fermes en gîtes ruraux parfois accompagnés de la transformation et de la vente directe des produits de la ferme.

Les actions dans les zones humides accompagnent la reconversion des exploitations et l'entretien des prairies permanentes est assuré par les agriculteurs grâce à des matériels spécifiques (comme par exemple « la faux rotative à bras») et la mise au point de nouvelles techniques de valorisation des fauches (fourrages, litières, combustibles…)

Toutefois, les agriculteurs qui ont adhéré à la démarche de reconversion de leur système de production se plaignent de plus en plus du temps nécessaire à l'entretien du bocage. Ils demandent alors à élaborer un nouveau Contrat d'Agriculture Durable qui les autorise à araser quelques haies sur leurs exploitations, en particulier celles qui n'ont pas de rôle fonctionnel vis-à-vis des transferts de flux. Un accord est trouvé avec les gestionnaires de l'eau et la DDAF qui fixent alors des règles précises : toute intention d'arasement doit être déclarée avant le 31 décembre 2017 sous forme graphique et la somme des arasements ne doit pas réduire la densité bocagère à un niveau inférieur au niveau de 2005. De plus, seules des haies situées au sein des exploitations, c'est-à-dire qui ne sont pas situées en limite de propriété ou d'usage entre deux exploitations (afin d'éviter des contentieux) ou des haies qui ne sont pas des haies de ceinture, peuvent être soumises à cette déclaration. Les agriculteurs auraient souhaité re-négocier la densité finale mais le marché du bois de chauffage, économie parallèle non négligeable (10000 euros pour 50 cordes de bois), est très porteur en raison de la flambée des prix du pétrole et du gaz. Ils n'hésitent pas à livrer dans un rayon de 50 km. Une fois le dépôt des déclarations d'intention clôturé, les gestionnaires de l'eau et la DDAF étudient les possibilités d'arasements de haies à l'aide d'un partenariat avec des chercheurs de l'INRA et l'Université de Rennes. L'utilisation de modèles suivant plusieurs scénarios possibles permet de produire une représentation de la situation optimale sous la forme d'un document cartographique précis servant de base à la réalisation d'un aménagement foncier. Les néo-ruraux, qui occupent une partie des sièges des conseils municipaux, plutôt réticents initialement, sont largement informés à travers la diffusion de la lettre « Au fil de l'eau » et de réunions participatives. Finalement, ils comprennent la situation des agriculteurs, prennent conscience des conséquences négligeables des arasements de haies sur l'environnement et ne s'opposent pas à l'aménagement foncier lors de la soumission à enquête publique. Après 2 ans d'instruction, 10 km de haies sont arasés en 2019.

Malgré le désengagement financier partiel du SAGE Blavet en 2018 qui « souhaite concentrer ses actions volontaristes sur des secteurs où les exigences de la DCE ne sont pas atteintes », le Haut-Blavet devient dès 2020 une région où agriculture et environnement cohabitent. De plus, l'extension des prairies permanentes hydromorphes a augmenté le potentiel hydrologique du bassin versant, ce qui permet de soutenir les étiages estivaux des sécheresses consécutives de 2018 et 2019, plus sévères que celles de 2003 et de 2005. L'alimentation en eau potable de qualité et le soutien d'étiage du lac de Guerlédan sont assurés.

Entre 2020 et 2027, les exploitations continuent de s'agrandir, augmentant la concentration et la spécialisation des productions laitière et bovine. On assiste malgré tout à l'installation d'un petit éleveur d'oies et de canards de qualité pour la production de foies gras, ainsi qu'au retour d'un élevage de postiers bretons dans une région traditionnellement équine.

11.1.2.4. L'image du Lestolet en 2027 : le « tout herbe »

Le bassin versant du Lestolet présente en 2027 une image radicalement différente de celle de 2005. La totalité des terres arables ont été converties en prairies (934 ha de prairies temporaires). Le maïs et les céréales ont complètement disparu.

La densité bocagère a légèrement baissé pour retrouver au niveau de 2005, soit 122 m/ha avec 168 km de linéaire bocager.

Les zones humides de fonds de vallées ont encore gagné près de 28 ha et totalisent une superficie de 288 ha, dont 210 ha de prairies permanentes, 30 ha de friches et 48 ha de bois.

Les gestionnaires de l'eau assurent désormais une mission de suivi des zones humides de fonds de vallées. Ainsi, le taux de nitrates dans l'eau dépasse rarement les 10 $mg.L^{-1}$.

Cette image est illustrée par la figure suivante (figure 138).

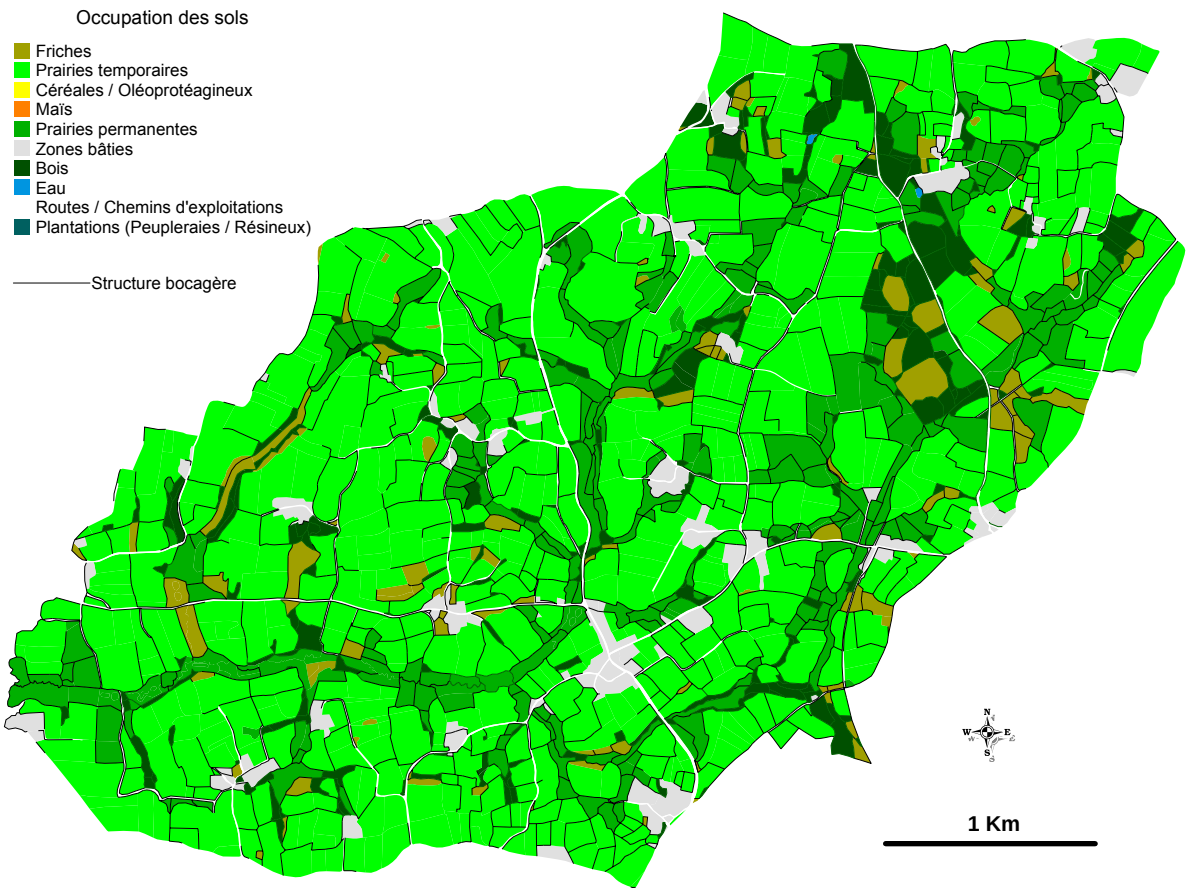


Figure 138. L'image du Lestolet en 2027 d'après le scénario A

11.1.3. Le scénario B : « L'intensification de l'agriculture et la gestion minimale des structures paysagères : de la problématique "Nitrate" à la problématique "Nitrate-Phosphore-Biodiversité" »

11.1.3.1. La période 2005-2014 : Le "modèle agricole breton" malmené

En novembre 2005, les modalités de la PAC de 2006 sont enfin révélées et les agriculteurs découvrent le montant des primes qu'ils toucheront annuellement jusqu'en 2013-2014, calculées à partir des productions réalisées entre 2000 et 2002. Le système complexe du Droit à Paiement Unique (DPU) incite les agriculteurs à produire au moins la même quantité de céréales pour conserver 100% des « Aides Grandes Cultures ». Le prix du blé sur le marché mondial poursuit, en 2006, la tendance à la baisse observée les années précédentes. Les agriculteurs du Lestolet sont éleveurs avant tout. Leur niveau technique est moins développé en matière de production végétale. Tout concorde pour ne pas engendrer de modification immédiate des assolements au niveau du système de production.

Au cours de la même année, le SAGE Blavet est adopté. La priorité est mise sur les bassins versants les plus intensifs, là où le modèle agricole breton a laissé massivement son empreinte. Les communes ayant fait l'objet d'un remembrement de type « table rase » et celles ayant massivement perdu des zones humides sont donc prioritaires. Le Haut-Blavet n'est pas concerné. Le SMKU s'est lancé dans une forte action de sensibilisation sur l'intérêt des zones humides de fonds de vallées et du bocage auprès des agriculteurs. Toutefois il ne possède que très peu d'outils juridiques et de moyens financiers pour agir massivement. L'objectif est donc de mettre en place un périmètre de protection immédiat à l'aval du bassin versant dès 2006 et de tout faire pour

sauvegarder la situation telle qu'elle est en 2005, en particulier les haies de ceinture à travers une procédure de dénonciation en cas de constatation d'arasement.

La situation agricole évolue peu. Les exploitants agricoles continuent de gérer leur exploitation comme ils le faisaient avant la PAC 2006, avec toutefois une légère augmentation des céréales (5%) au détriment des prairies temporaires et du maïs afin d'assurer la perception des aides « grandes cultures » au sein d'un territoire au climat et à la pédologie relativement peu favorables à cette culture comparativement à d'autres territoires en Bretagne.

Entre 2005 et 2014, quelques exploitations s'agrandissent de façon non négligeable, suite au départ à la retraite d'un tiers des exploitants du Lestolet. La reprise des quotas laitiers, des DPU et des terres induit une intensification du système de production. L'exploitant réduit ses coûts de production en augmentant la production laitière par vache, mais l'augmentation de ses quotas augmente sensiblement sa charge de travail. Ainsi, la part des prairies, nécessaire aux pâturages et aux fourrages, n'évolue pas proportionnellement aux quotas. Cette nouvelle charge de travail est partiellement compensée en automatisant l'alimentation de son troupeau. Le DPU l'incite à augmenter la part des cultures dans l'assolement dont la gestion (semis, récolte) est réalisée par une ETA. Par incidence, seules les prairies permanentes hydromorphes localisées à proximité du siège d'exploitation sont encore utilisées, les autres sont abandonnées, faute de temps pour les entretenir. Suivant le même principe, les initiatives individuelles d'arasement des haies poursuivent les tendances des 50 dernières années. Les haies situées autour du siège et des prairies qui l'entourent, en limite de propriété ou d'usage entre deux exploitations, ainsi que les haies de ceinture de fonds de vallées ne sont pas concernées.

Fin 2008, l'ensemble des exploitants de type bovin « Lait + volaille » se réfugie dans la production laitière, suite aux crises sanitaires (grippes aviaires) de 2006 et 2008. D'autres abandonnent leur production de viande bovine par pessimisme (investissements sur plusieurs années, risque sanitaire – rumeurs sur une variante de la maladie de la vache folle –, etc.). L'exploitation porcine ne modifie pas son assolement. Etant donné que plus de 95% de SAU était en céréales entre 2001 et 2003, l'exploitant perçoit le montant maximal possible des aides « grandes cultures » sur son exploitation.

De plus, en 2009-2010, la conjoncture internationale est défavorable à l'agriculture française pour trois raisons : la concurrence des pays de l'Europe de l'Est devient plus prégnante alors que la Croatie vient de rentrer dans la CE et que la Bosnie, la Roumanie et la Bulgarie attendent leur tour ; la pression internationale de la coalition « USA – Brésil – Grande-Bretagne » mise en place en novembre 2005 « *contre la situation privilégiée de la France liée à la PAC* » se fait de plus en plus ressentir ; l'augmentation des prix des carburants issue des crises pétrolières de 2006 et 2008 mettent sérieusement en péril la rentabilité des exploitations agricoles.

Dès 2010, la production de biocarburants devient une nécessité et se généralise. Elle était marginale avant 2008. Ainsi, après 2010, on observe une augmentation sensible de la production d'oléo-protéagineux (colza diester), de maïs et de céréales pour la production d'éthanol. Les exploitations laitières tendent donc à augmenter la part de cultures dans leur assolement, à réduire au maximum les surfaces de pâturage pour tendre vers une production laitière quasiment hors-sol, lle qu'elle est déjà pratiquée depuis près de 10 ans aux Pays-Bas.

11.1.3.2. L'image du Lestolet en 2014 : des plateaux ouverts massivement cultivés et des zones humides fermées en cours de boisement

En 2014, le bassin versant du Lestolet présente ainsi près de 392 ha de prairies temporaires, 37 ha de prairies permanentes (contre 41 en 2005), 307 ha de maïs et 300 ha de céréales.

La densité bocagère a sensiblement diminué, atteignant 96 m/ha, soit 133 Km de linéaire bocager contre 170 en 2005 : 9 km de structures linéaires boisées ont disparu sur les versants et 28 km ont disparu suite à l'évolution de parcelles (friches ou autres) en surfaces boisées (non différenciation des haies).

Les zones humides de fonds de vallées n'ont pas régressé sur le plan foncier mais se sont considérablement fermées (31 ha de prairies permanentes, 57 ha de friches et 132 ha de bois).

La biodiversité floristique et faunistique s'appauvrissent. La concentration en nitrates est très légèrement tributaire de l'augmentation de la part des cultures à l'échelle du bassin versant, entre 40 et 45 $mg.L^{-1}$. Par contre, un autre problème apparaît sur le Lestolet : la fermeture des zones humides de fonds de vallées a engendré une forte augmentation de la biomasse et, par voie de conséquence, de l'eutrophisation.

Les gestionnaires de l'eau s'inquiètent de cette évolution sur le Haut-Blavet alors qu'ils attendent encore des améliorations sur les zones sur lesquelles ils ont lourdement investi. Les agriculteurs s'inquiètent de leur devenir d'un point de vue économique : la charge de travail est plus importante, les charges financières plus lourdes. Certains d'entre eux ont même perdu une partie de leur prime pour non respect du principe d'éco-conditionnalité.

Cette image est illustrée par la figure suivante (figure 139).

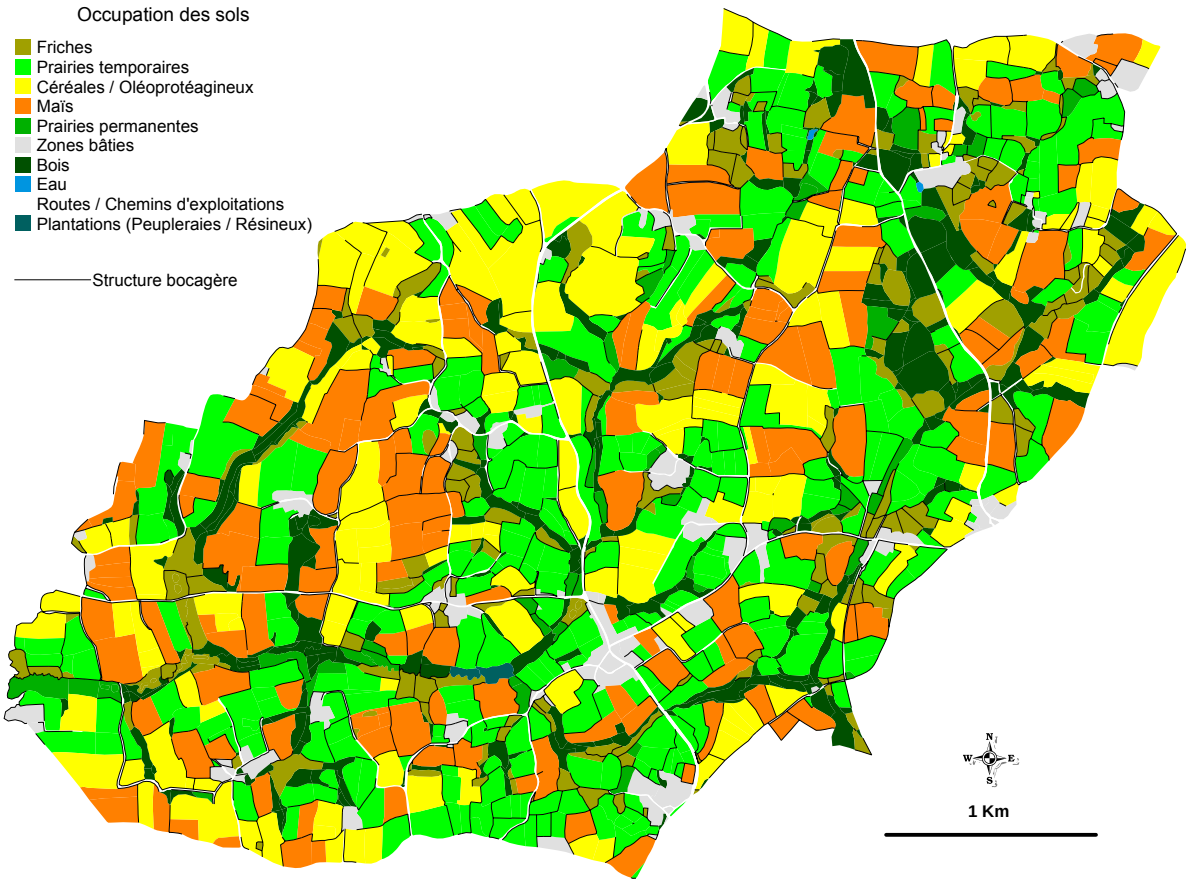


Figure 139. L'image du Lestolet en 2014 d'après le scénario B

11.1.3.3. La période 2014-2027 : De la firme agricole à la firme agro-énergétique

En 2014, le système d'aides de la PAC 2006 n'est pas fondamentalement remis en cause et est prolongé jusqu'en 2022 grâce à la présidence de la France à la Communauté Européenne. Mais la grogne est générale dans le monde agricole : malgré la divergence fondamentale de leur points de vue, les deux principaux syndicats manifestent ensemble car ils sont inquiets pour la profession. La pression de la DCE est de plus en plus forte et les tensions entre le monde agricole et les gestionnaires de l'eau se font ressentir à tous les échelons (local, subrégional, régional, national et européen). Les agriculteurs du Lestolet restent sensibles aux préoccupations environnementales de leur bassin versant et s'attachent à avoir des pratiques (de fertilisation par exemple) les meilleures possibles, tant que cela est rentable pour eux. Mais les tensions avec le SMKU et ses exigences environnementales sont palpables et la scission imminente. Leur objectif est de trouver une solution économiquement viable alors que le cours du blé continue de baisser et les prix du pétrole d'augmenter. La quasi-totalité des exploitants du Lestolet se sont équipés de solutions techniques

leur permettant de produire une partie de leurs besoins en carburant à partir de colza (diester) et de maïs (éthanol).

En 2015, sous la pression de la communauté internationale s'appuyant sur des études scientifiques américaines et en raison de l'absence de résultats scientifiques fondés des laboratoires européens et des cours inflationnistes du pétrole, l'Etat et la CE autorisent l'utilisation de cultures transgéniques. Des sociétés américaines implantent des usines de transformation destinées à la production de biocarburants pour produire de l'éthanol à partir de cultures de maïs. Les OGM réduisent considérablement les coûts de traitements pour les agriculteurs (arrêt des achats de pesticides). En l'espace de 2 ans, un réseau d'IAE (Industries Agro-Energétiques) se structure pour absorber cette production massivement adoptée par les agriculteurs bretons. Le modèle américain de la « Corn Belt » des années 2000-2005 se met en place en Bretagne et dans d'autres régions françaises. La production céréalière est toutefois maintenue pour percevoir les « Aides Grandes Cultures ». A l'échelle de l'exploitation, la part des prairies se limite au strict minimum pour le pâturage du cheptel bovin afin de respecter le principe d'éco-conditionnalité (bien-être animal). Une petite partie de la production de maïs est destinée aux fourrages, le reste aux IAE. La production de céréales et d'oléo-protéagineux est maintenue pour toucher à la fois le DPU et la production personnelle de biocarburant. Les deux sécheresses consécutives de 2018 et 2019, encore plus sévères que celles de 2003 et de 2005, ont fini de convaincre les derniers agriculteurs réticents. Les cultures OGM ont beaucoup moins souffert de la sécheresse.

L'agrandissement des exploitations se poursuit et engendre un abandon quasi-total des zones humides de fonds de vallées. Seules les prairies permanentes situées à proximité des sièges d'exploitation n'ont pas évolué en friches. Les anciennes friches ont quasiment toutes évolué en bois. L'augmentation de la taille des exploitations se traduit essentiellement par une hausse de la part du maïs dans l'assolement et une production laitière de type hors-sol. Cela concorde avec une recherche de simplification maximale du travail de la part des exploitants. Avec l'agrandissement continu des exploitations, le bocage devient une véritable gêne. Sur l'ensemble de la période 2015-2027, l'ensemble des haies qui ne sont pas situées autour du siège d'exploitation et des prairies qui l'entourent, en limite de propriété ou d'usage entre deux exploitations et les haies de ceinture de fonds de vallées ont été arasées progressivement.

Les gestionnaires de l'eau sont très inquiets de l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères. Ils craignent une augmentation de la concentration azotée liée aux changements d'assolements et à la disparition progressive de haies situées sur les versants.

11.1.3.4. L'image du Lestolet en 2027 : omniprésence des bois dans les fonds de vallées et des OGM sur les versants parsemés de haies résiduelles

En 2027, le bassin versant du Lestolet présente une image différente de celle de 2014. La majeure partie des terres arables a été convertie en cultures (436 ha de maïs, 356 ha de céréales/oléo-protéagineux). Des prairies subsistent seulement à proximité des sièges d'exploitation (204 ha de prairies temporaires, 22 ha de prairies permanentes).

La densité bocagère a fortement baissé entre 2014 et 2027, atteignant au final 64m/ha, soit une perte de 82 km de linéaire bocager en moins de 15 ans. Cette perte s'effectue à travers la disparition de 27 km de haies sur les versants et de 55 km due à l'évolution de parcelles (friches ou autres) en surfaces boisées (non différenciation des haies).

Les zones humides de fonds sont quasi-totalement fermées. Il ne reste que 22 ha de prairies permanentes hydromorphes, contre 190 ha de bois et 8 ha de friches humides.

Ainsi, la concentration azotée dépasse régulièrement les 50 $mg.L^{-1}$, les concentrations en phosphore sont alarmantes et provoquent des phénomènes d'eutrophisation de plus en plus fréquents. Sur le Lestolet, la biodiversité faunistique et floristique s'est considérablement dégradée, en particulier au sein des zones humides de fonds de vallées.

Cette image est illustrée par la figure suivante (figure 140).

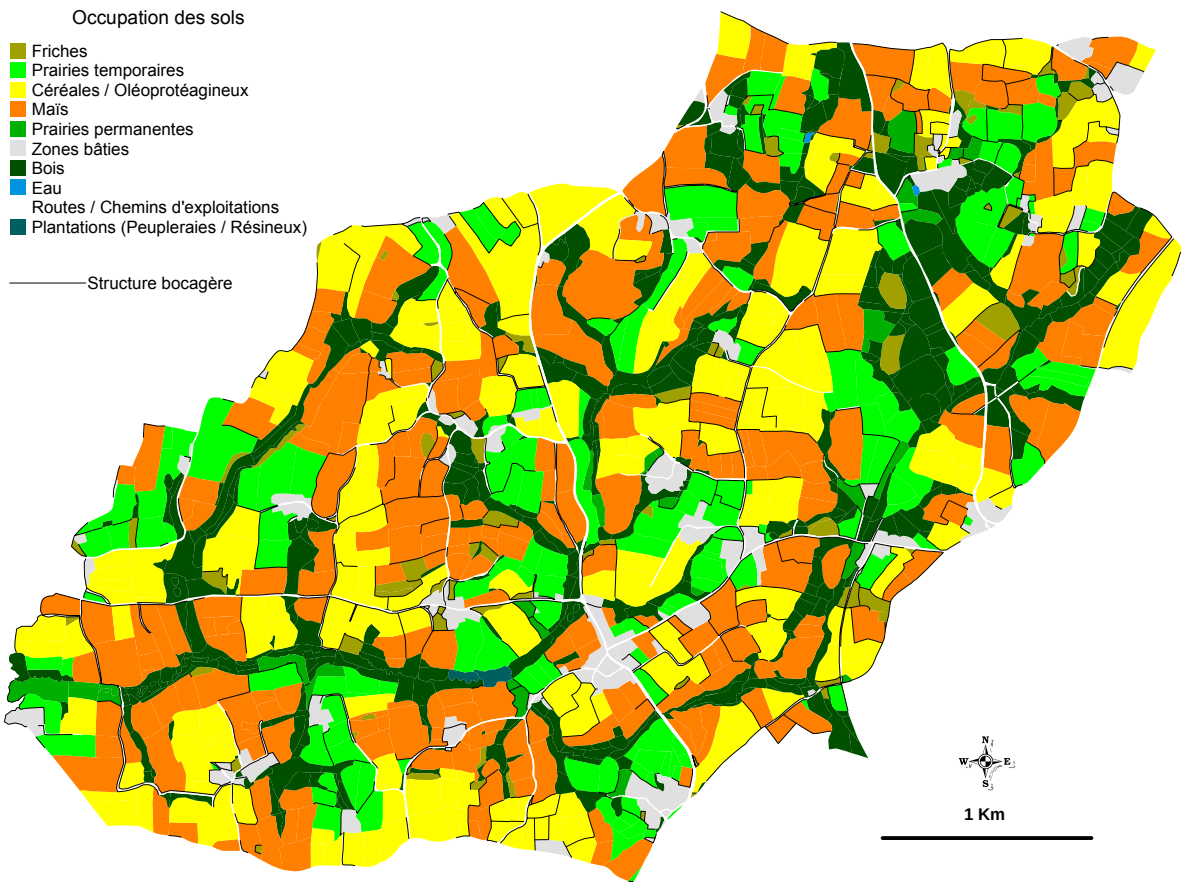


Figure 140. L'image du Lestolet en 2027 d'après le scénario B

11.1.4. Le scénario C : « Le Lestolet un espace privatisé à vocation non agricole »

11.1.4.1. La période 2005-2014 : Le "modèle agricole breton" mal mené

L'évolution du Lestolet entre 2005 et 2014 dans le scénario C est identique à celle observée dans le scénario B.

11.1.4.2. L'image du Lestolet en 2014 : des plateaux ouverts massivement cultivées et des zones humides fermées en cours de boisement

L'image du Lestolet en 2014 dans le scénario C est donc identique à celle présentée dans le scénario B.

11.1.4.3. La période 2014-2027 : Le divorce entre le «modèle agricole breton » et l'utilisation du sol

En 2014, le système d'aides de la PAC 2006 n'est pas remis en cause et est prolongé jusqu'en 2022 grâce à la présidence de la France à la Communauté Européenne. Seules les modalités d'attribution des subventions ont évolué. Elles sont désormais assurées par les Régions, dont le

rôle « d'échelon stratégique de la CE » pour le développement local est renforcé. Les agriculteurs sont rassurés face aux rumeurs de suppression des subventions de la Politique Agricole Commune après 2014. Toutefois, le montant des primes à l'hectare est revu à la baisse et reste valable jusqu'en 2025. Les cours du blé, du lait et de la viande (porc, volaille, bovin) sont au plus bas. La grogne est générale dans le monde agricole : malgré la divergence fondamentale de leurs points de vue, les deux principaux syndicats manifestent ensemble car ils sont inquiets pour la profession. La pression de la DCE est de plus en plus forte et les tensions entre le monde agricole et les gestionnaires de l'eau se font ressentir à tous les échelons (local, subrégional, régional, national et européen). Le moral des agriculteurs est au plus bas.

En 2015, deux exploitants, dont le maire de la commune de Kérien et le référent local décident d'arrêter leurs productions agricoles et de profiter du système d'aides de la PAC de 2006 afin de percevoir annuellement une « rente ». La seule contrainte à respecter est de faucher annuellement les prairies qui occupent désormais la totalité de leur SAU. Un des deux se reconvertit dans le tourisme vert avec une production agricole faible et de qualité pour les besoins du gîte et pour la vente directe. L'entretien du bocage résulte du marché local du bois de chauffage. Il lui procure une manne financière conséquente dans le contexte d'augmentation des prix du pétrole et du gaz. Les parcelles humides sont dédiées à la chasse et entretenues en conséquence (quelques bois, maintien en friches ou défrichement). Le second agriculteur devient quant à lui pluri actif.

Par ailleurs, le SAGE Blavet, inquiet de l'augmentation de la concentration en phosphore issue de l'eutrophisation propose aux relais locaux (SMKU, collectivités locales, chambre d'agriculture) de recourir à une association pour réaliser des opérations de défrichement et de déboisement, mais aussi d'assurer la pérennité de ces entretiens en créant une CUMA « filière bois ». Quelques exploitants se déclarent intéressés par la démarche. Au final, 30% des parcelles humides sont réhabilitées en prairies permanentes. Les deux exploitants saisissent l'opportunité qui leur est offerte pour défricher et déboiser les parcelles humides les moins encaissées. Ils y implantent alors des taillis à courtes rotations (tels que les bouleaux) qui permettent d'assécher légèrement les zones de bas fonds de vallées et d'offrir des conditions de chasse plus favorables.

Entre 2015 et 2020, l'initiative des deux «ex-agriculteurs » est connue de tous les agriculteurs du Lestolet. La moitié des exploitants ont tout de suite adopté la même démarche en raison de difficultés financières. De plus, la production de copeaux de bois destinée aux chaudières à bois est en plein essor. En raison de la pénibilité du travail d'entretien des haies, certains préfèrent les araser, d'autant plus que cela facilite leur travail de fauche annuel. Seules les haies qui ne sont pas situées autour du siège d'exploitation et des prairies qui l'entourent, en limite de propriété ou d'usage entre deux exploitations ainsi que les haies de ceinture de fonds de vallées sont concernées. Par ailleurs, certains d'entre eux sont obligés de revendre quelques parcelles humides à des particuliers intéressés pour aménager de petits étangs.

En 2018, un sylviculteur de Bourbriac s'est porté acquéreur de nombreuses parcelles, dont beaucoup sont des landes humides à l'abandon, pour y planter des résineux et des taillis à courte rotation.

Les sécheresses consécutives de 2018 et 2019, encore plus sévères que celles de 2003 et de 2005, ont mis en grande difficulté financière les derniers agriculteurs encore "en activité". Ils abandonnent. Certains se reconvertissent comme les précédents, d'autres cherchent à revendre leur exploitation. D'autres encore ont déménagé vers des centres urbains (Guingamp, Rennes, voire même la région parisienne) pour trouver un nouvel emploi tout en conservant leurs terres qu'ils entretiennent annuellement. Mais la situation est telle que la profession n'attire plus. Les retraités doivent cesser leur activité pour toucher leur retraite et ne peuvent plus ainsi percevoir leurs primes. Les exploitants voisins rachètent leurs terres et les aides qu'ils perçoivent pour un prix très faible. Les haies qui entourent les parcelles les plus petites sont arasées dans un souci de simplification du travail, alors que le tourisme à la ferme bat son plein en Centre Bretagne.

En 2023, la population vivant à l'année dans les communes du Haut-Blavet a diminué de plus de 30 à 50% suivant les communes depuis le début des années 2000. Certains services de proximité ne peuvent plus être assurés : le bar/tabac/restaurant/épicerie/station-service de Kérien ferme. Il n'y a plus aucun agriculteur qui pratique son métier à des fins de production animale ou végétale. Le « modèle agricole breton » n'existe plus sur le Lestolet. Le divorce entre agriculture et utilisation du sol est consommé.

11.1.4.4. L'image du Lestolet en 2027 : la généralisation des « jachères en herbe », un bocage et des fonds de vallées de nouveau entretenus

Le bassin versant du Lestolet présente en 2027 une image radicalement différente de celle de 2005. La totalité des terres arables ont été converties en prairies (983 ha de prairies temporaires). Le maïs et les céréales ont complètement disparu.

La densité bocagère a fortement baissé pour atteindre 90 m/ha, soit 124 km de linéaire bocager. Cette perte se décline par la disparition de 18 km de haies sur les versants et de 28 km due à l'évolution de parcelles (friches ou autres) en surfaces boisées (non différenciation des haies).

Les zones humides de fonds de vallées sont au deux tiers gérées par de nouveaux acteurs : particuliers non agricoles, associations et collectivités locales, agriculteurs reconvertis, sylviculteurs. Le dernier tiers a été abandonné. Ainsi, les friches sont peu présentes (30 ha). Les prairies permanentes totalisent 72 ha, les parcelles boisées (abandonnées) 83 ha et les plantations, peupleraies et résineux, plus de 34 ha. Les surfaces en eau cumulent une superficie de 1 ha.

Les conséquences sur la qualité de l'eau sont importantes avec une forte baisse de la pollution azotée (20-25 mg.L^{-1}) et une légère régression des problèmes d'eutrophisation.

Cette image est illustrée par la figure suivante (figure 141).

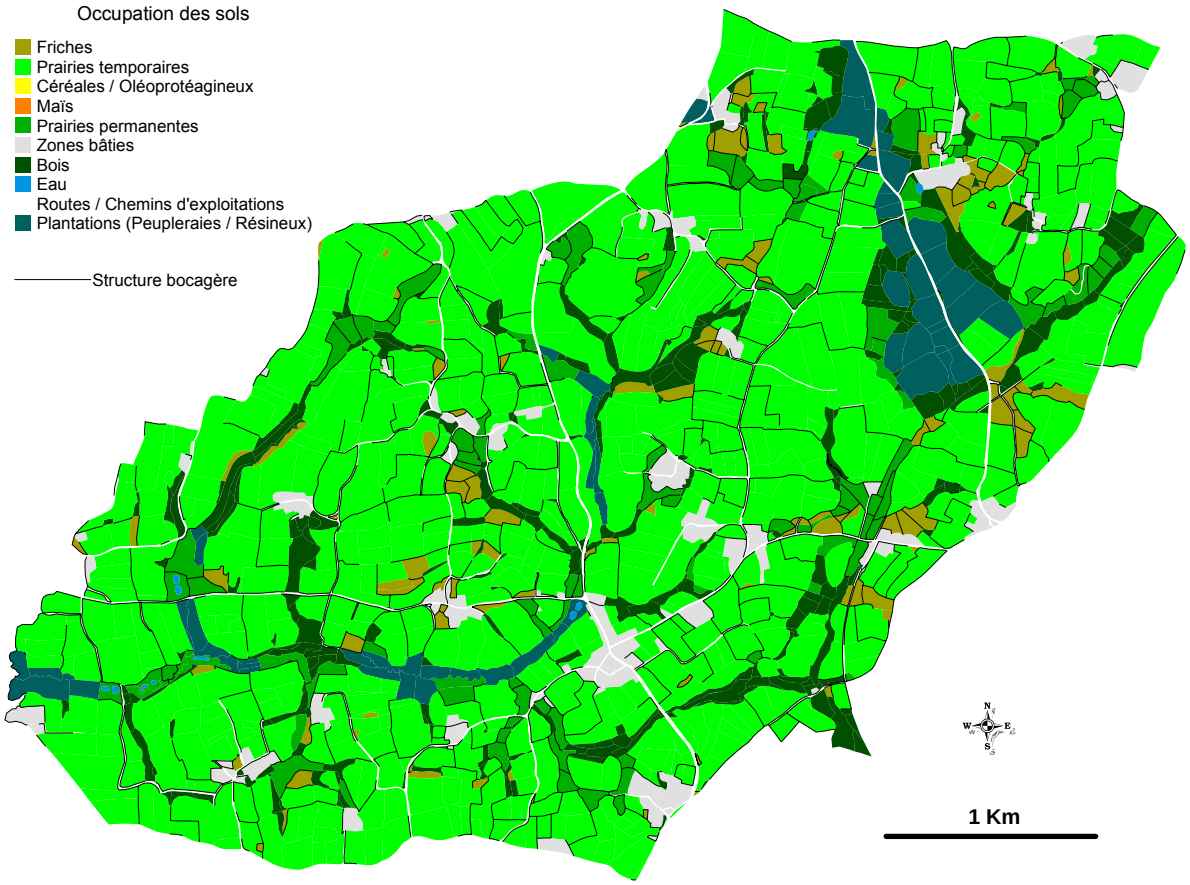


Figure 141. L'image du Lestolet en 2027 d'après le scénario C

11.1.5. Synthèse des scénarios normatifs

Le scénario A, qui constitue un scénario en rupture avec la tendance passée d'évolution des paysages agricoles (1981-1998), envisage une situation idéale sur le plan environnemental. Pour y parvenir, les investissements humains et financiers sont conséquents pour l'ensemble des acteurs, agriculteurs, conseillers agricoles et gestionnaires de l'eau. Le principe fondamental de ce scénario repose sur un changement progressif des modes de production de la part des exploitants qui passent d'un système intensif à un système extensif. Cette mutation radicale n'est pas ressentie par les exploitants comme « une régression » sur le plan technique grâce d'une part, aux conseils et campagnes d'informations distillés par la Chambre d'Agriculture et d'autre part, à la baisse de la charge de travail qui s'effectue tout en maintenant le revenu agricole. Cette réduction de la charge de travail est notamment permise grâce aux actions d'entretien et d'aménagement de l'espace réalisées par les gestionnaires de l'eau.

Le scénario B, qui se situe dans le prolongement du scénario A, représente une évolution aux conséquences dramatiques sur le plan environnemental. Cette évolution est le fruit d'un contexte économique international très contraignant (marché du pétrole, marchés agricoles…), du contexte réglementaire vis-à-vis des OGM destinés à de nouveaux marchés (biocarburants) et de l'absence d'actions concertées et volontaires entre agriculteurs et gestionnaires de l'eau.

Le scénario C, correspond quant à lui à un scénario de bouleversement. Bien qu'il évoque une situation favorable sur le plan environnemental, il témoigne d'une évolution socio-économique et démographique critique pour le tissu rural. Sans remettre en cause les modalités d'attribution des aides à l'hectare, la baisse de leur montant permet aux agriculteurs de les percevoir tout en limitant, voire abandonnant une activité de production agricole. Ceci leur offre la possibilité de devenir pluriactif ainsi que le temps d'entretenir et d'aménager le territoire de leur exploitation, désormais destiné à de nouvelles activités telles que la chasse et la pêche et de nouveaux marchés tel que le celui du bois.

11.2. L'évaluation de l'impact des scénarios normatifs spatialisées

L'évaluation de l'impact des scénarios normatifs spatialisés se décline en deux points : (1) la quantification des changements « extrêmes » possibles des modes d'occupation des sols et des structures paysagères à travers plusieurs indicateurs et (2) les résultats de modèles évaluant les flux d'eau théoriques, la qualité de l'eau et la biodiversité des zones humides.

11.2.1. Les changements futurs possibles

Les changements futurs possibles sont déterminés pour les types d'occupation et d'utilisation des sols, les zones humides de fonds de vallées et le bocage.

11.2.1.1. Les dynamiques futures des modes d'occupation et d'utilisation des sols

Les changements des modes d'occupation et d'utilisation des sols pour les scénarios A, B et C sont ici synthétisés et replacés dans la dynamique passée (1981-1998). Nous rappelons que les situations ont très peu évolué entre 1998 et 2005.

La figure 142 montre que le scénario A est en rupture avec l'évolution passée. En 2014, les efforts des acteurs locaux et des gestionnaires ont permis de rétablir des proportions

d'occupation des sols similaires à celles existantes dans les années 1970[33]. Le niveau de technicité des modes de production est par contre très différent. Les actions des acteurs et gestionnaires locaux permettent d'enrayer la poursuite de la contraction de la SAU. C'est la fin de la « révolution du maïs fourrager » et le début de « l'ère herbagère agri-environnementale », qui atteint son paroxysme dès la fin des années 2020.

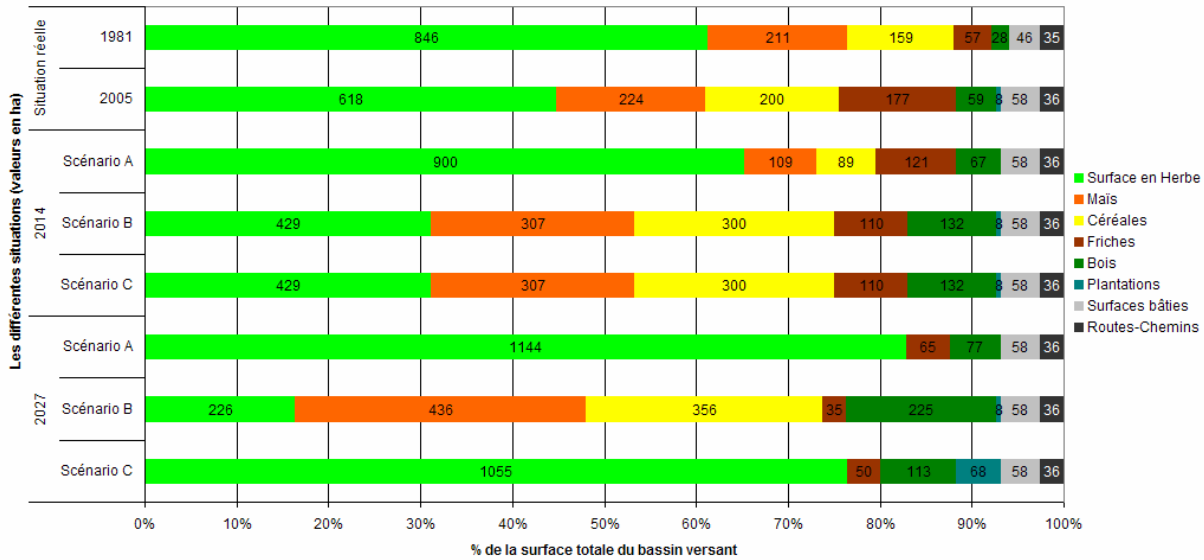


Figure 142. Evolution des proportions d'occupation des sols entre 1981 et 2027 pour les scénarios A, B et C sur le bassin versant du Lestolet

Le scénario B poursuit les tendances passées en les accentuant. Entre 1981-2005, 25 % de la surface en herbe de 1981 (environ 220 ha) a été convertie en cultures. Entre 2005 et 2014 (9 ans, soit 2,5 fois moins de temps), ce sont près de 220 ha de prairies qui disparaissent au profit des cultures. Entre 2014 et 2027 (13 ans), ce sont encore près de 200 ha de prairies qui se transforment en maïs ou en céréales. Cette évolution est synonyme d'une très forte intensification des modes de production. Les contraintes économiques sont trop fortes et les acteurs locaux et les gestionnaires de l'eau sont impuissants. La production laitière devient presque totalement hors-sol et les productions de maïs et de céréales sont destinées aux fourrages du cheptel bovin et à des industries agro-énergétiques.

Le scénario C commence par prolonger les tendances passées, tout comme le scénario B, mais la pression des contraintes économiques et environnementales va engendrer un bouleversement qui va totalement inverser cette tendance. C'est un changement radical des modes d'utilisation des sols qui, dans un contexte économique favorable (mode de financement de la Politique Agricole Commune de la Communauté Européenne), conduit à une reconversion massive de l'ensemble de la SAU en surfaces en herbe. Si les conséquences sont favorables pour les gestionnaires de l'eau, les répercussions socio-économiques sur le tissu rural local peuvent être dramatiques. La démographie baisse sensiblement ne permettant plus de maintenir les commerces de proximité. Les agriculteurs, très attachés à leurs terres, voient leur vie transformée : certains d'entre eux ne vivent plus forcément sur place, d'autres se sont convertis à des activités touristiques qui restent très fluctuantes suivant les saisons.

[33] Les proportions des modes d'occupation des sols de 1952 et 1966 décrites dans la partie 2 n'ont pas été représentées, car les types de cultures étaient différents (le maïs était rare ou inexistant ; les céréales était en majorité du lin, de l'avoine, du seigle et du blé noir) et les modes de production incomparables (fermes semi autarciques produisant majoritairement des cultures avant les années 1970).

11.2.1.2. Les dynamiques futures des zones humides de fonds de vallées

Implicitement, les dynamiques des zones humides de fonds de vallées sont liées à celles des modes d'occupation et d'utilisation des sols.

Le scénario A est en rupture par rapport à la tendance passée, car les zones humides s'étendent et s'ouvrent à nouveau (figure 143). En l'espace de 9 ans, les gestionnaires de l'eau ont réussi à rétablir une situation similaire à celle de 1966, pour retrouver finalement celle de 1952 en 2027. La seule différence s'observe au niveau de la proportion de friches de 1952 qui équivaut aux proportions de friches et de bois cumulées en 2027.

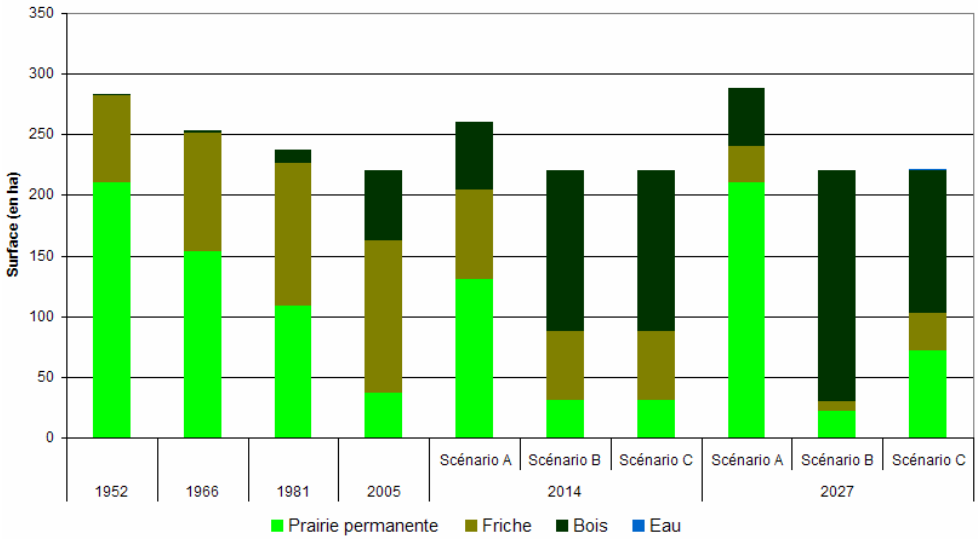


Figure 143. Evolution des types d'occupation des sols au sein des zones humides de fonds de vallées entre 1981 et 2027 pour les scénarios A, B et C sur le bassin versant du Lestolet

Le scénario B prolonge la tendance de fermeture mais pas celle de la réduction de l'extension spatiale des zones humides, puisque le drainage des parcelles humides n'est plus autorisé.

Le scénario C, quant à lui, continue la tendance de fermeture des zones humides dans un premier temps, avant de l'inverser légèrement. A la différence du scénario A, cette rupture de tendance ne se traduit pas par une extension spatiale des zones humides de fonds de vallées.

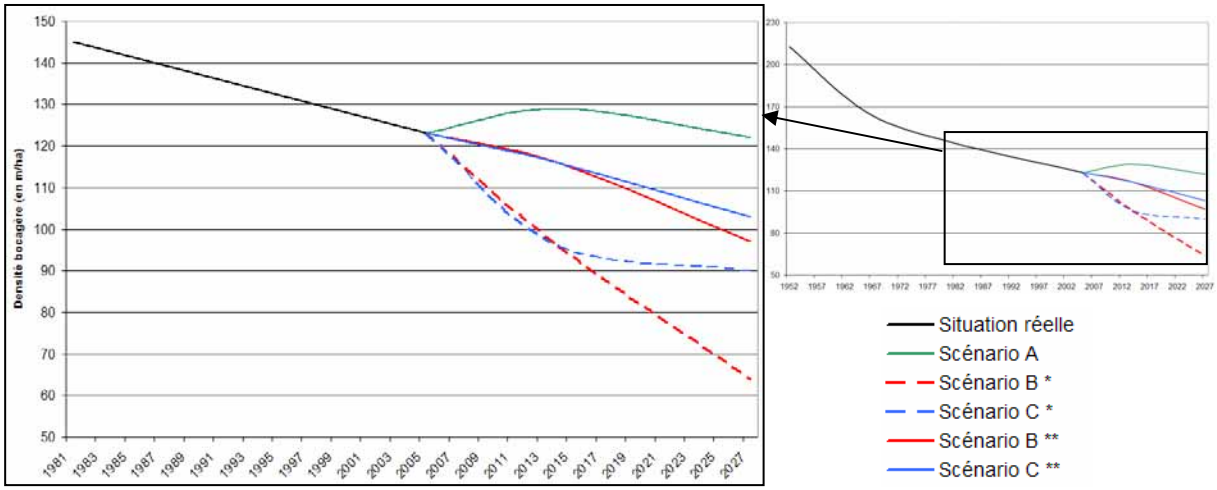
11.2.1.3. Les dynamiques futures des structures linéaires boisées

En ce qui concerne les structures linéaires boisées, là encore, le scénario A montre une rupture avec la tendance 1981-2005 (figure 144) : la hausse du linéaire boisé entre 2005 et 2014 rompt avec cette tendance, mais après 2014, l'évolution reprend un rythme similaire à celui observé depuis 1966. Toutefois, au regard des changements intervenus depuis 1952, cette évolution s'inscrit dans la continuité de la tendance passée qui se stabilise autour 120 m/ha.

Sans prendre en compte l'influence de la fermeture des zones humides sur la densité de haies, c'est-à-dire en ne tenant compte que des actions humaines de gestion des structures linéaires boisées, le scénario C prolonge de façon linéaire la tendance passée (1966-1998) jusqu'en 2027 avec une perte moyenne de 1 m/ha/an. Le constat est proche pour le scénario B, même s'il présente une accélération de la baisse de densité bocagère après 2014 (-1.5 m/ha/an).

L'influence de la fermeture des zones humides sur l'évolution de la densité bocagère est très sensible. Dans le scénario C, cela explique la forte baisse de la densité bocagère entre

2005 et 2014. Mais les changements des modes d'utilisation des sols des zones humides (déboisements) tendent à ralentir cette baisse après 2014, malgré les arasements qui persistent sur les versants.



* Evolution de la densité bocagère en tenant compte de l'influence de la fermeture des zones humides (disparition de haies qui ne sont plus différenciables des surfaces boisées induites par l'absence de gestion)
** Evolution de la densité bocagère issues des actions anthropiques individuelles (arasements) : les haies qui ne sont plus différenciables des bois humides sont considérées comme toujours existantes.

Figure 144. Evolution de la densité bocagère entre 1952 et 2027 pour les scénarios A, B et C sur le bassin versant du Lestolet

11.2.2. Les impacts environnementaux

11.2.2.1. Sur les flux d'eau théoriques

Le modèle Ruicells a été utilisé pour évaluer l'influence des changements d'occupation des sols produits par les scénarios A, B et C sur les flux d'eau. Ces débits sont théoriques et évalués pour un épisode pluvieux donné (20 mm/m²), supposé uniforme sur l'ensemble du bassin versant. Les résultats sont comparés avec le flux théorique en fonction de la topographie du bassin versant et de la situation de 2005, assimilée à celle de 1998. Enfin, notons que ces évaluations ne tiennent pas compte de la configuration du bocage car le modèle n'est pas encore adapté pour les intégrer. Nous avons cherché à mettre en évidence l'impact possible des changements d'occupation des sols sur les flux d'eau à l'exutoire.

La figure 145 présente la carte des écoulements dans une gamme de couleurs proportionnelle aux débits cumulés dans chacune des cellules de l'automate, ainsi qu'un enregistrement des débits à l'exutoire.

La surface en amont du point de mesure choisi est de 1135 ha, engendrant un flux d'eau total de 22700 m^3 en fin de simulation. Le débit théorique maximal observé durant la simulation et lié à la seule morphologie du bassin versant est de 1,99 $m^3.s^{-1}$. Les modes d'occupation des sols de 1998 influencent sensiblement ces flux d'eau en augmentant le débit moyen, avec un débit maximal de 3,05 $m^3.s^{-1}$. L'implantation généralisée des prairies (scénarios A et C) freine légèrement ces débits et modifie le moment où le débit maximal se produit. A l'inverse, l'augmentation de la part de cultures (scénario B), augmente les débits à l'exutoire avec un débit maximal de 4,05 $m^3.s^{-1}$ qui est deux fois plus élevé que celui qui ne tient compte que de la morphologie du bassin versant.

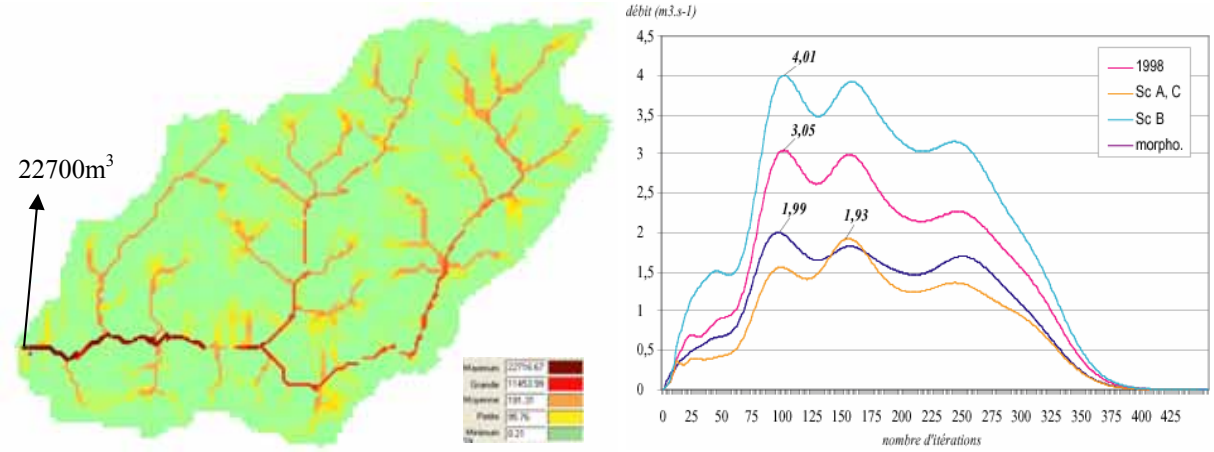


Figure 145. Cartes des écoulements cumulés et hydrogrammes de crues théoriques issus de la morphologie du bassin versant (*morpho*),de la situation initiale et des trois scénarios A, B et C (*Sc A, B et C*) pour le Lestolet

Par déduction, les scénarios A et C, qui freinent de façon non négligeable les flux, contribuent à éviter l'ennoiement des zones humides et à augmenter le potentiel de rétention en eau du bassin versant par infiltration, recharge des nappes et soutien aux étiages. La réciproque n'est pas aussi évidente pour le scénario B (nécessité de prendre en compte le niveau de battance des sols, le type d'épisode pluvieux…). Ce dernier augmente le risque d'érosion des sols. La simulation des écoulements de surface permet aussi de montrer le rôle de la localisation des structures linéaires boisées vis-à-vis de ces écoulements (figure 146).

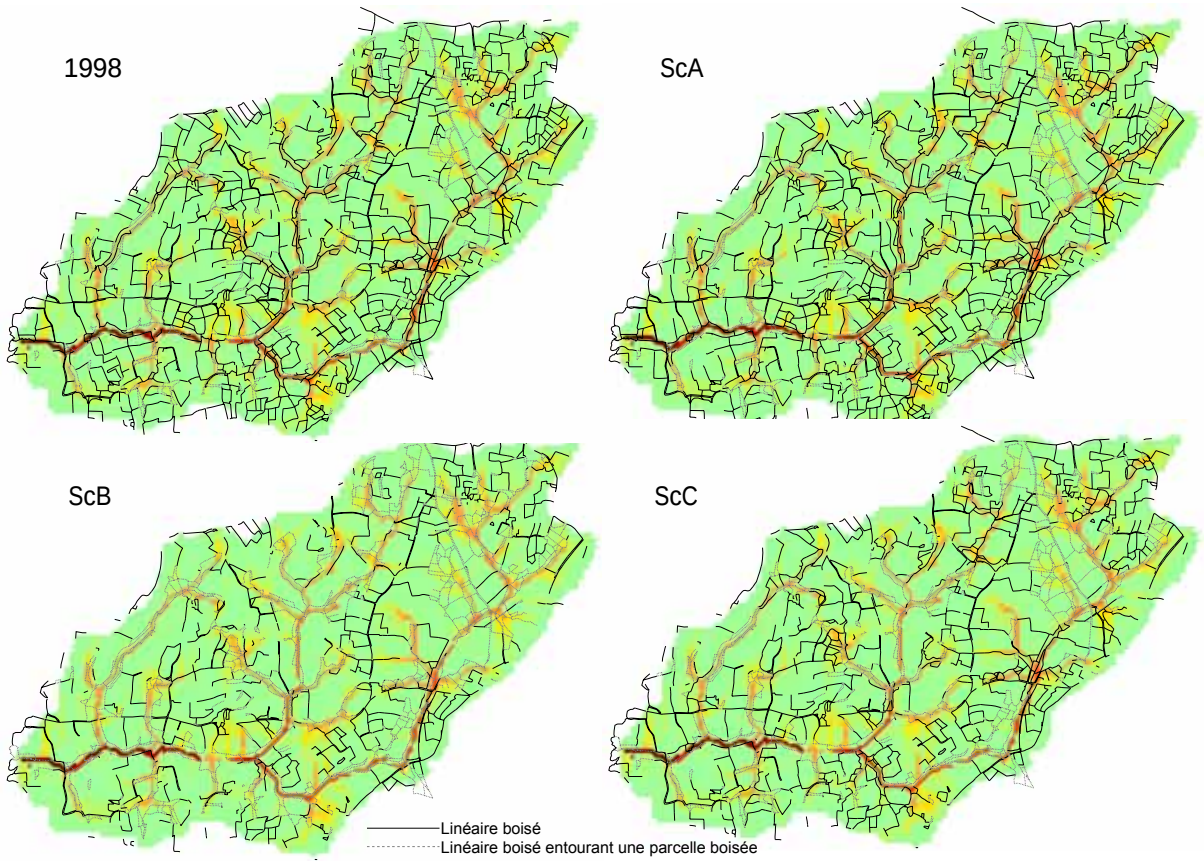


Figure 146. Localisation des structures linéaires boisées en 1998 et 2027 pour les scénarios A, B et C sur le Lestolet vis-à-vis des écoulements de surfaces simulés par le modèle Ruicells

La figure 146 permet de localiser les haies ayant un rôle vis-à-vis des écoulements sur les versants. Le scénario A produit une répartition optimale des haies qui avantage certaines exploitations par rapport à d'autres en terme de temps nécessaire à l'entretien du bocage. Le scénario B se distingue par des versants plus ouverts qui auront pour incidence d'accélérer les flux et d'augmenter les risques d'érosion, sans toutefois augmenter la superficie des zones contributives en relation directe avec le cours d'eau. Le scénario C illustre une situation intermédiaire entre les scénarios A et B.

11.2.2.2. Sur la qualité de l'eau et la biodiversité des zones humides

L'analyse comparative des incidences des trois scénarios normatifs sur la qualité de l'eau et la biodiversité des zones humides est synthétisée dans le tableau 31.

	Nitrates* (mg/L)	Pesticides*	Phosphore*	Evolution zones humides	Biodiversité au sein de la zone humide*
Etat 1981	?	-	-	Fermées à 55%	Moyenne à forte
Etat 2005	35	-	-	Fermées à 80%	Faible
Scénario A 2014	25	-	-	Extension (+40 ha) Réouverture	Sauvegarde et enrichissement faunistique / floristique
Scénario A 2027	10	-	-	Extension (+28 ha) Réouverture	Sauvegarde et enrichissement faunistique / floristique
Scénario B 2014	40-45	Contamination ponctuelle	Eutrophisation ponctuelle	Fermeture (boisement)	Appauvrissement faunistique / floristique
Scénario B 2027	> 50	-	Eutrophisation régulière	Fermeture maximale	Appauvrissement faunistique / floristique
Scénario C 2014	40-45	Contamination ponctuelle	Eutrophisation ponctuelle	Fermeture (boisement)	Appauvrissement faunistique / floristique
Scénario C 2027	20-25	-	Eutrophisation rare	Réouverture + Artificialisation	Enrichissement faunistique
* Valeurs théoriques estimées					

Tableau 31. Evolution de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques entre 1981 et 2027 pour les scénarios A, B et C sur le bassin versant du Lestolet

La concentration en nitrates atteint les normes de la DCE en 2014 pour le scénario A et en 2027 pour le scénario C. L'amélioration de la qualité de l'eau par rapport à 2005 est liée dans les deux cas à la disparition des cultures sur lesquelles les apports d'engrais organiques et minéraux étaient réalisés et à l'amélioration des pratiques de fertilisation des prairies. Le scénario B, quant à lui, produit une augmentation régulière de la concentration entre 2005 et 2027, jusqu'à des taux mettant en péril la distribution en eau potable par le Syndicat Mixte de Kerné Uhel.

Des contaminations ponctuelles par les pesticides apparaissent dans les scénarios B et C jusqu'en 2014. L'utilisation de cultures génétiquement modifiées dans le premier cas et les changements des modes d'usages des terres (fauches annuelles ou semestrielles) dans le second cas les font disparaître après cette date. Elles restent inexistantes dans le scénario A.

Les problèmes d'eutrophisation constituent un nouvel enjeu de reconquête de la qualité de l'eau dans le scénario B. Ils croissent au fur et à mesure que les zones humides se boisent. Ce phénomène d'eutrophisation est ponctuel pour le scénario C (pics en 2014), régulier après 2014 pour le scénario A et rares dans le cas du scénario C.

L'évolution des zones humides à des répercussions sur l'évolution de la biodiversité. La restauration des zones humides dans le scénario A permet de sauvegarder les parcelles d'intérêt patrimonial recensées (ADASEA 22, 2003) et engendre un enrichissement floristique et faunistique. A l'inverse, le scénario B provoque un appauvrissement de la faune et de la flore dû à la fermeture (boisement) des milieux humides. Le scénario C, entraîne un appauvrissement faunistique et floristique jusqu'en 2014, inverse la tendance uniquement sur le plan faunistique par une réouverture et une artificialisation des certaines parcelles.

11.3. Conclusion partielle

Synthèse

Si les trois scénarios sont contrastés dans leurs hypothèses de départ, ils ne le sont pas moins dans leur déroulement, même si au final, deux scénarios se ressemblent sur le plan paysager. Le scénario A constitue un scénario en rupture avec la tendance passée d'évolution des paysages agricoles (1981-1998). Le scénario B est dans son prolongement. Le scénario C correspond quant à lui à un scénario de bouleversement.

Dans un contexte économique structurant et contraignant, les relations entre les acteurs locaux et les gestionnaires de l'eau peuvent entraîner des modes d'usages des sols fort différents. Les investissements humains et financiers nécessaires à une gestion durable de l'eau sont importants tant pour les gestionnaires de l'eau que pour les acteurs locaux. Il apparaît que seules des synergies entre ces acteurs peuvent permettre d'éviter des évolutions aux conséquences potentiellement dramatiques sur les ressources en eau ou encore sur le tissu socio-économique rural. Ainsi, des synergies locales ayant pour objet commun l'entretien et l'aménagement de l'espace doivent être instaurées pour enrayer des évolutions issues d'initiatives individuelles aux conséquences dommageables pour l'environnement, les exploitants agricoles et le tissu rural.

Remarques et préconisations

En premier lieu, les scénarios prospectifs normatifs mettent en évidence un certain nombre de facteurs de changements futurs qui peuvent avoir des conséquences importantes sur l'évolution des paysages agricoles et leur gestion par les acteurs et gestionnaires du monde agricole.

L'évolution des marchés internationaux des produits agricoles (céréales, lait, viande) et de l'énergie (prix du pétrole, énergies renouvelables,…), des modalités de la Politique Agricole Commune, des connaissances et des avancées sur les OGM confèrent un cadre qui, tendanciellement, offre des contraintes et des opportunités à l'agriculture française.

Les gestionnaires de l'eau devront, eux aussi, répondre à des contraintes environnementales imposées par la Directive Cadre Européenne sur l'Eau. Les moyens et outils dont ils disposent ont pour objectif de mettre en œuvre une gestion efficace et durable de l'eau. Par exemple, l'optimisation des fonctionnalités épuratrices des zones humides converge avec les besoins des agriculteurs en matière de gestion des territoires agricoles. Dès lors, **la gestion spatiale de l'eau ne doit pas seulement être perçue comme un outil « technique » de gestion de l'eau, mais bien comme une fonction d'entretien et d'aménagement de l'espace qui s'envisage dans la durée.** Par exemple, les résultats sur la

qualité de l'eau peuvent s'améliorer si les gestionnaires de l'eau financent les actions d'entretien des zones humides sur le long terme (association, développement d'outils adaptés…) plutôt que d'investir massivement pour ouvrir ces espaces en une opération d'aménagement. En contrepartie, les agriculteurs doivent être mobilisés et impliqués : la gestion des zones humides par les gestionnaires de l'eau doit être compensée par la gestion du bocage par les agriculteurs par exemple, et notamment des haies de ceintures qui pourraient être restaurées. Pour cela, il semble important que les initiatives menées par les gestionnaires de l'eau (SAGE Blavet, Syndicat Mixte de Kerné Uhel) trouvent des appuis locaux (Chambres d'agriculture, agriculteurs, …), des soutiens politiques (communes, communauté de communes, Conseil Général …) et financiers (communes, communauté de communes, Conseil Général, Conseil Régional, Agence de l'Eau…). En cela, la structure du SAGE semble particulièrement adaptée. Mais des phases de réflexions et de travail préalables sont indispensables pour établir un plan de communication et de mobilisation de l'ensemble des acteurs. Les limites de l'exercice prospectif portant uniquement sur l'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols à l'échelle locale sont ici atteintes.

En second lieu, la spatialisation des scénarios n'a pas la même fonction pour les scénarios normatifs que pour les scénarios exploratoires. Dans le cas des scénarios normatifs, les mécanismes d'évolution ne sont plus visibles et identifiables. Toutefois, la carte constitue un objet neutre et consensuel, autour de laquelle les acteurs discutent, se mettent en situation dans un contexte global et réaliste. Cela devrait leur permettre *a priori* de mieux appréhender les points de vue et contraintes des autres acteurs. Certains des documents cartographiques peuvent également servir à la mise en place d'actions de sensibilisation et/ou d'aménagements. Ainsi, **les scénarios spatialisés peuvent être considérés comme un d'outil d'aide à la démarche participative** (Joliveau, 2004), **en offrant « une représentation » réaliste d'un territoire vécu** (Joliveau et Michelin, 2001). La confrontation de ce point de vue avec celui des participants à l'exercice prospectif, c'est-à-dire celui des gestionnaires de l'eau et des acteurs locaux, fait l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE 12 - Apports des scénarios prospectifs spatialisés pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux

L'évaluation de l'apport des scénarios prospectifs spatialisés vise à répondre à deux objectifs :

- Orienter le choix du type de scénario à privilégier ; Ceci revient à répondre à la question suivante : Vaut-il mieux privilégier une démarche exploratoire ou normative ou encore les deux ?
- Déterminer l'apport des scénarios et notamment l'apport de la dimension spatiale de ces scénarios pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux.

L'apport des scénarios prospectifs spatialisés a été évalué par les principaux intéressés, les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux, le 6 février 2006, lors d'une réunion organisée à Lanrivain (Côtes d'Armor), sur le bassin versant du Lestolet, au cours de laquelle la totalité des résultats des scénarios prospectifs spatialisés a été présentée (annexe 12). Les personnes présentes avaient, pour la plupart, déjà été sensibilisées à la démarche prospective, soit à travers la participation à des réunions organisées pour la réalisation des scénarios, soit dans le cadre de l'étude prospective effectuée à l'échelle du Blavet.

L'échantillon qui a servi à l'évaluation n'est pas statistiquement significatif, le nombre de participants étant limité à 5. Toutefois, comme il est représentatif de la diversité des acteurs concernés par la gestion de l'eau, les conclusions tirées de cette évaluation peuvent être considérées comme indicatives.

Dans ce chapitre, les évaluations des scénarios exploratoires, des scénarios normatifs et de la démarche globale entreprise sont successivement abordées.

12.1. L'évaluation des scénarios exploratoires

L'évaluation des scénarios exploratoires porte à la fois sur la forme et sur le fond des résultats présentés dans le chapitre 10.

12.1.1. L'évaluation des modes de restitution des scénarios exploratoires

D'une façon générale, d'après les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux, les modes de restitution des scénarios exploratoires sont plutôt adaptés (tableau 32).

Les restitutions sous formes cartographiques, qu'il s'agisse des cartes d'occupation des sols ou des descripteurs de risque, leurs semblent très explicites et adaptées. L'animation vidéo de l'évolution annuelle des usages des terres semble intéressante sans toutefois faire l'unanimité. Nous pensons que cela provient de la vitesse trop élevée avec laquelle les images ont été enchaînées. Les graphiques ont été relativement moins bien évalués, probablement en raison d'un mode de représentation trop complexe, rendant l'analyse difficile.

	Très explicite, utile et approprié	Adapté et intéressant	Peu adapté ou explicite	Inutile ou inapproprié
La représentation cartographique				
Les cartes de fréquences de retour en maïs des parcelles agricoles				
L'animation vidéo de l'évolution du paysage agricole bocager				
L'évolution des proportions des modes d'occupation des sols				
Les graphiques de fréquence de retour en maïs				
Les graphes des surfaces cumulées en maïs par classe de distance au cours d'eau				

0 1 2 3 4 5 6 Nombre de réponses

Les réponses « Ne se prononce pas » n'ont pas été représentées

Tableau 32. Evaluation des modes de restitution des scénarios prospectifs exploratoires

12.1.2. L'évaluation de l'apport des scénarios exploratoires

A la question, « comment considérez-vous les résultats apportés par les scénarios prospectifs exploratoires ? », les personnes interrogées s'accordent à dire qu'ils sont très utiles à potentiellement utiles (tableau 33).

Les fortes interrogations liées à l'influence de la réforme de la PAC de 2006 et de l'agrandissement des exploitations y contribuent probablement largement. Les gestionnaires de l'eau se sont montrés les plus intéressés par ces résultats. Les acteurs du monde agricole semblent moins surpris : certains avaient déjà pressentis l'influence de l'agrandissement des exploitations sur les modes d'occupation et d'utilisation des sols, d'autres pensent que l'ensemble des mécanismes sont plus complexes que ceux qui ont été reproduits par les scénarios, et que d'autres facteurs, tel que l'attribution d'une « fonction » à certaines parcelles (« culture », écologique…), pourraient fortement influencer l'allocation spatiale des cultures.

De même, les résultats sur l'influence des changements des structures foncières sur les modes d'occupation des sols et le rôle tampon du paysage intéressent l'ensemble des acteurs, mais plus particulièrement -et logiquement- les gestionnaires de l'eau. Néanmoins, l'évaluation faite par les acteurs du monde agricole montre leur sensibilisation et leur intérêt vis-à-vis des préoccupations propres aux acteurs de la gestion de l'eau.

	Très utile, éclairant sur l'avenir	Intéressant et potentielle-ment utile	Peu novateur ou utile	Inutile ou inapproprié
Influence de la PAC sur les modes d'occupation des sols				
Influence de l'agrandissement des exploitations agricoles sur les modes d'occupation des sols				
Influence des changements des structures foncières sur les modes d'occupation des sols				
Influence des changements des structures foncières sur le rôle tampon du paysage				

0 1 2 3 4 5 6 Nombre de réponses

Les réponses « Ne se prononce pas » n'ont pas été représentées

Tableau 33. Evaluation de l'apport des scénarios prospectifs exploratoires

12.2. L'évaluation des scénarios normatifs

L'évaluation des scénarios exploratoires porte à la fois sur la forme et sur le fond des résultats présentés dans le chapitre 11.

12.2.1. L'évaluation des modes de restitution des scénarios normatifs

D'une façon générale, les modes de restitution des scénarios normatifs semblent légèrement moins adaptés que ceux des scénarios exploratoires. Ils sont malgré tout majoritairement considérés comme « adaptés et intéressants ».

Il ressort du tableau suivant (tableau 34) que l'ensemble des modes de restitution qui synthétisent l'impact des scénarios sur les paysages agricoles bocagers ou sur les ressources en eau (cartographies, valeurs quantifiées de densité bocagère, de fermeture des ZH et de flux d'eau, valeurs estimées de la qualité de l'eau) sont unanimement les plus appréciés.

Les récits et les graphiques d'évolution des proportions des modes d'occupation des sols sont considérés comme légèrement moins adaptés. Nous émettons l'hypothèse que cela provient de la comparaison avec les modes de restitution précédents. Dans le cas des récits, leur longueur et la richesse d'informations qu'ils contiennent ne facilitent pas la représentation d'une image précise des situations évoquées. Dans le cas des graphiques, ils peuvent apparaître redondants par rapport aux cartes.

Les cartes de localisation du bocage vis-à-vis des écoulements théoriques font moins l'unanimité. Les acteurs dans l'agriculture se sont montrés plus intéressés par ces cartes que les gestionnaires de l'eau. Nous pensons que cela est lié aux représentations spatiales contrastées du territoire sur lequel ils vivent et auquel ils sont attachés.

	Très explicite, utile et approprié	Adapté et intéressant	Peu adapté ou explicite	Inutile ou inapproprié
Le rendu sous forme de récits				
La représentation cartographique des images en 2014 et 2027				
L'évolution des proportions des modes d'occupation des sols (1981, 1998, 2014, 2027)				
L'évolution des proportions des modes d'occupation des sols au sein des zones humides de fond de vallée (1981, 1998, 2014, 2027)				
L'impact sur les flux d'eau théoriques				
La localisation du réseau bocager des scénarios prospectifs vis-à-vis des écoulements théoriques				
L'utilisation de valeurs quantifiées de densité bocagère, de fermeture des ZH et de flux d'eau				
L'utilisation de valeurs théoriques approximatives estimées pour la qualité de l'eau et des milieux aquatiques				

0 1 2 3 4 5 6 Nombre de réponses

Les réponses « Ne se prononce pas » n'ont pas été représentées

Tableau 34. Evaluation des modes de restitution des scénarios prospectifs normatifs

12.2.2. L'évaluation de l'apport des scénarios normatifs

Lorsque l'on pose la question « comment considérez-vous les résultats apportés par les scénarios prospectifs normatifs ? » aux participants, ils sont relativement unanimes. L'apport des scénarios normatifs est utile pour comprendre les points de vue des acteurs agricoles et de la gestion de l'eau, mais surtout très utile pour mettre en valeur l'importance des interrelations pour une gestion de l'eau efficace et durable (tableau 35).

	Très utile, éclairant sur l'avenir	Intéressant et potentielle-ment utile	Peu novateur ou utile	Inutile ou inapproprié
Sur les exigences et contraintes de l'activité agricole				
Sur les exigences et contraintes des gestionnaires de l'eau				
Sur les relations entre exploitants agricoles et gestionnaires de l'eau				

0 1 2 3 4 5 6 Nombre de réponses

Les réponses « Ne se prononce pas » n'ont pas été représentées

Tableau 35. Evaluation de l'apport des scénarios prospectifs exploratoires

Ceci montre tout d'abord que les récits, bien que peu synthétiques, constituent un moyen explicite de mettre en évidence le poids des jeux d'acteurs, et par corollaire, les enjeux de la gestion de l'eau et les moyens nécessaires à mettre en œuvre pour y parvenir. Ceux qui ont majoritairement jugé ces scénarios comme « éclairant sur l'avenir » sont les acteurs du monde agricole. Nous émettons l'hypothèse que ces scénarios leurs apportent une vision plus globale, différente d'une vision qui peut se restreindre à leur exploitation.

12.2.3. L'évaluation de la probabilité d'accomplissement des scénarios normatifs

Enfin, il nous semblait intéressant d'évaluer comment les acteurs locaux et les gestionnaires de l'eau appréciaient le niveau de probabilité de réalisation des trois scénarios normatifs. Le scénario A été considéré comme « peu probable » par 4 participants et « probable » par un gestionnaire de l'eau. Le scénario B est considéré comme « probable » à l'unanimité. Le scénario C est considéré comme probable par les gestionnaires de l'eau et « peu probable » par les acteurs agricoles.

Bien qu'il s'agisse de scénarios extrêmes, force est de constater que l'analyse du degré de probabilité d'accomplissement des scénarios normatifs montre le peu d'optimisme des acteurs du monde agricole et des gestionnaires des ressources en eau. Il est difficile de tirer plus de conclusions de ces questions. Les réponses peuvent aussi bien être objectives, qu'influencées par des *a priori* ou des expériences passées infructueuses, ou encore modulées par le degré d'acceptabilité des évolutions futures présentées.

12.3. L'évaluation globale de l'apport des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale

Globalement, l'analyse de l'apport des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale par les acteurs locaux et les gestionnaires de l'eau a mis en évidence plusieurs points repris ci-après.

12.3.1. La complémentarité des scénarios exploratoires et normatives favorise la prise de conscience des préoccupations de chacun des acteurs

Lors de la discussion qui est intervenue après la présentation des résultats, les différents acteurs ont pointé l'intérêt de l'utilisation conjointe de scénarios exploratoires et normatifs. Le tableau 36 montre en effet qu'ils s'accordent à dire que les scénarios facilitent (1) la compréhension des processus qui font évoluer les paysages agricoles bocagers et les incidences possibles sur les ressources en eau et (2) aident à prendre conscience des défis, des préoccupations et des contraintes des différents acteurs. En effet, il semble que les gestionnaires ont apprécié les connaissances apportées par les scénarios sur les processus qui font évoluer un paysage agricole et qui sont, pour l'essentiel, dépendants de l'évolution des modes d'usage des terres. Les acteurs du monde agricole ont mesuré pour leur part l'intérêt d'une démarche fédérative, dont l'enjeu ne porte plus uniquement sur la gestion de l'eau mais aussi sur le maintien d'un tissu local et le développement du territoire.

		Tout a fait d'accord	Plutôt d'accord	Pas tout a fait d'accord	Pas du tout d'accord
1	La compréhension des processus de changements des paysages agricoles bocagers et de leurs répercussions potentielles sur les ressources en eau				
2	La prise de conscience des enjeux et contraintes de l'ensemble des personnes / acteurs concernés				
3	La meilleure prise en compte du contexte local dans les actions de gestion de l'eau (Aménagements, pratiques agricoles, conseils individuels, etc.)				
4	La localisation précise des zones potentiellement à risque				
5	La quantification précise des évolutions futures				
6	Le rendu cartographique apporte plus de réalisme (comparativement aux seuls récits)				
7	La mise en discussion de la question de la gestion de l'eau				
8	La diffusion des résultats auprès de l'ensemble des acteurs concernés				

0 1 2 3 4 5 6 Nombre de réponses

Les réponses « Ne se prononce pas » n'ont pas été représentées

Tableau 36. Evaluation de l'apport des scénarios suivant plusieurs propositions

12.3.1.1. La dimension spatiale des scénarios prospectifs : un réalisme indispensable à la gestion durable de l'eau

Les propositions 3 à 6 du tableau 36 visent à mettre en valeur l'utilité des représentations spatiales pour aider à la gestion durable et efficace de l'eau. Les évaluations des différents acteurs sont explicites : Non seulement les scénarios spatialisés apportent plus de réalisme d'un point de vue visuel et quantitatif, mais en plus ils sensibilisent l'ensemble des acteurs concernés. De plus, ils offrent la possibilité de produire des descripteurs de risque qui permettent d'identifier les zones sur lesquelles des opérations d'aménagement ou de sensibilisation peuvent être réalisées.

12.3.1.2. La finalité des scénarios : la concertation pour mettre en œuvre de futurs moyens de gestion de l'eau

Le débat entre les acteurs du monde agricole et de la gestion de l'eau a mis en avant un point essentiel de la finalité des scénarios prospectifs : définir de façon concertée de futurs moyens de gestion de l'eau. Un des participants a émis la remarque suivante : « Ces scénarios obligent à prendre position, c'est-à-dire non seulement à faire réagir, mais surtout à trouver un consensus dans l'intérêt territorial local ».

Ces propos sont confirmés par le fait que les participants considèrent de façon unanime que les scénarios prospectifs spatialisés sont utiles pour débattre de la question de la gestion de l'eau (ligne 7, tableau 36).

12.3.1.3. Les questions soulevées par les scénarios

Lors de la discussion consécutive à la présentation des scénarios, les questions soulevées par les gestionnaires de l'eau et les acteurs du monde agricole portèrent sur l'opportunité de l'utilisation de ces scénarios pour l'aide à la gestion de l'eau, sur l'identification des leviers d'action pour y parvenir, mais aussi sur la faiblesse des scénarios.

Les scénarios peuvent, selon eux, constituer un moyen de mobiliser l'ensemble des acteurs locaux à travers une campagne de communication (ligne 8, tableau 36). Toutefois, ils ont insisté sur le fait que les scénarios prospectifs doivent être replacés dans un contexte prospectif qu'il convient d'exposer clairement au préalable.

Ensuite, les scénarios prospectifs ont permis d'engager un dialogue sur les moyens à mettre en œuvre pour une gestion efficace de l'eau à moyen et long terme. Un des premiers leviers d'actions identifié porte sur le contrôle de l'évolution du foncier. Les préconisations faites sur ce sujet dans le chapitre 10 concordent avec les observations effectuées au cours de cette discussion. Un second levier porte sur le principe d'éco-conditionnalité de la PAC 2006, et plus précisément sur l'entretien des zones humides. En cas d'entretien insuffisant, les agriculteurs peuvent se voir attribuer des pénalités financières. Certains pourraient même préférer les retirer de leur DPU car les pertes occasionnées seraient moins conséquentes que les pénalités infligées. Dès lors, l'entretien des zones humides revêt à la fois un enjeu économique pour les agriculteurs et un enjeu environnemental pour les gestionnaires de l'eau. La convergence d'intérêts doit être source d'une convergence de moyens.

Par ailleurs, les gestionnaires de l'eau et les acteurs du monde agricole ont pointé une des faiblesses, à leur sens, des scénarios: l'absence d'une évaluation précise des impacts socio-économiques des scénarios sur le tissu local, qui complèterait l'évaluation des impacts sur les ressources en eau. Nous touchons là une limite de ces scénarios qui sont volontairement limités dans le cadre de ce travail à l'évolution des paysages agricoles bocagers et à leurs répercussions sur l'environnement. Cette dimension socio-économique pourrait utilement être prise en compte dans de futurs travaux prospectifs.

Enfin, les scénarios ont permis d'engager le débat sur des points d'incertitudes, notamment sur la faisabilité de certaines actions évoquées dans les scénarios et sur les pistes à suivre pour améliorer la gestion de l'eau. Par exemple, les points d'incertitudes évoqués par les gestionnaires de l'eau portent sur la modification des modes d'attribution des aides PAC[34]. En ce qui concerne la faisabilité d'actions ou les pistes à suivre pour améliorer la gestion de l'eau, nous considérons que les scénarios ont atteint un de leurs objectifs : engager la

[34] Dans la discussion, il était évoqué que 20% des aides dépendraient à l'avenir du nombre d'Unités de Travail Agricole (UTA). Dans une région où la démographie agricole est en forte baisse, quelles seront les incidences locales de cette mesure sur le tissu socio-économique, l'évolution des paysages et la qualité de l'eau ?

concertation pour l'action. Mais ils atteignent là une autre limite : ils ne portent pas sur le jeu d'acteurs et par conséquent ne peuvent constituer un outil d'accompagnement dans la mise en place de moyens d'actions pour améliorer la gestion de l'eau. Le recours à d'autres méthodes (utilisation de modèles multi-agents par exemple) doit être envisagée.

12.4. Conclusion partielle

Au terme d'une démarche d'évaluation proposée aux acteurs locaux et aux gestionnaires de l'eau, il apparaît que les scénarios prospectifs spatialisés leur ont apporté des connaissances essentielles pour une gestion de l'eau durable et efficace.

Un des premiers résultats concerne la complémentarité des démarches prospectives adoptées : les scénarios exploratoires offrent une meilleure compréhension des processus qui font évoluer les paysages agricoles bocagers aux gestionnaires de l'eau alors que les scénarios normatifs aident à prendre conscience d'enjeux englobants auxquels les agriculteurs peuvent contribuer tout en répondant à leurs propres préoccupations.

Un autre résultat concerne la spatialisation des scénarios. La localisation des zones potentiellement à risque dans une vision à moyen ou long terme constitue déjà en soi un outil d'aide à la gestion de l'eau. Mais la mise en situation de l'ensemble des acteurs, de façon réaliste à travers des représentations spatialisées, facilite la concertation et la participation à la gestion de l'eau.

L'évaluation des scénarios prospectifs par les acteurs locaux a débouché sur un dialogue constructif ayant permis d'identifier des leviers d'actions et d'émettre des préconisations pour aider à la gestion de l'eau à l'échelle locale et de façon durable dans le temps.

Il n'existe pas, à notre connaissance, de dispositif d'actions à l'échelle locale réalisé en concertation avec l'ensemble des acteurs concernés dans le but de répondre aux exigences de la DCE. Le bassin versant du Lestolet (voire du Haut-Blavet) constitue un site où les avancées sont réelles. Une étude d'accompagnement du jeu d'acteurs semble nécessaire pour parvenir à mettre en place, de façon concertée, des solutions visant la gestion durable de l'eau. Cela constituera non seulement un exemple pour d'autres territoires du Blavet, mais aussi l'occasion d'acquérir une expérience importante dans l'instauration d'un programme d'actions ayant pour objectif la gestion concertée et participative de l'eau à l'échelon local.

Conclusion

Les onze scénarios prospectifs spatialisés réalisés ont permis de quantifier les évolutions possibles d'un paysage agricole bocager, d'identifier les dynamiques spatiales des changements futurs et de localiser des zones porteuses d'enjeux vis-à-vis des ressources en eau.

La dimension spatiale n'a pas la même fonction suivant le type de scénario employé :

- Dans le cas des scénarios exploratoires, elle met tout d'abord en avant la complexité des changements des modes d'occupation et d'utilisation des terres à travers la simulation dynamique et spatialement explicite des processus qui font évoluer un territoire agricole bocager. Par ailleurs, elle permet de distinguer les influences respectives et les interactions de facteurs de changements qui avaient été identifiés comme essentiels pour éclairer l'avenir d'un paysage agricole bocager tels que l'influence de la PAC 2006, l'agrandissement des exploitations agricoles, et l'agrandissement du parcellaire agricole.
- Dans le cas des scénarios normatifs, elle apporte un réalisme à des scénarios très contrastés, parfois considérés comme improbables par les acteurs lors de la lecture des récits. Elle contextualise des évolutions futures qui restent, malgré tout, plausibles et facilite la prise de conscience des enjeux de la gestion de l'eau à l'échelle d'un bassin versant. La dimension spatiale aide à la concertation et à la participation des différents acteurs concernés par la gestion de l'eau.

L'évaluation des impacts des scénarios sur les ressources en eau a permis d'identifier des leviers d'actions pour une gestion de l'eau plus durable et plus efficace. Certains de ces leviers étaient déjà connus (fertilisation raisonnée, couverture des sols en hiver, restauration des haies de ceinture, entretien des zones humides de fonds de vallées, etc.) mais leur intérêt aux yeux des acteurs est conforté, voire renforcé. En revanche, d'autres facteurs ont été révélés à travers cet exercice : participation à la gestion ou au contrôle de l'évolution des structures foncières des exploitations, synergies locales à mettre en place et dans la durée entre les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux (une CUMA filière « bois » par exemple) dans l'intérêt économique et environnemental de chacun, etc.…

Le corpus de connaissances fourni par les scénarios prospectifs spatialisés constitue un apport important pour aider à une meilleure gestion de l'eau dans le temps et dans l'espace. C'est ce qui ressort de l'évaluation faite par les acteurs locaux et les gestionnaires de l'eau sur l'apport de ces scénarios. Leurs interrogations sur les manières de procéder, sur l'utilisation des scénarios pour mobiliser l'ensemble des acteurs à l'échelle du territoire concerné, sont les témoins de la mise en place d'un processus de concertation allant dans le sens d'une démarche participative de gestion de l'eau et de développement local.

CONCLUSION GENERALE

Les changements intervenant au niveau de l'usage des terres et des structures paysagères en contexte agricole intensif ne sont pas aussi spectaculaires que la déforestation ou l'urbanisation des grandes aires métropolitaines, mais peuvent engendrer de lourdes conséquences environnementales, notamment sur les ressources en eau. Dans certaines régions, la dégradation de la qualité de l'eau est telle que la gestion de l'eau doit désormais répondre à de multiples enjeux : lutte contre les contaminations par les pesticides, réduction de la pollution azotée, baisse de l'eutrophisation des eaux continentales et littorales, etc.

Depuis le 23 octobre 2000, date de mise en place de la Directive Cadre Européenne sur l'eau (directive 2000/60/CE), le contexte de la gestion de l'eau a considérablement changé, passant d'une logique de moyens à une logique d'obligation de résultats à moyen ou long terme. La transcription de cette directive au niveau de la politique de l'eau en France s'effectue par l'intermédiaire des Schémas d'Aménagement et de Gestion des Eaux, appliqués sur des bassins versants de taille variée, allant de quelques centaines à quelques milliers de Km². En parallèle, la demande quantitative en eau de qualité croît continuellement pour divers besoins (alimentation en eau potable, industrie, agriculture, préservation d'une attractivité touristique, etc.), alors que les marges de manœuvre se réduisent face à des évènements climatiques (sécheresses) de plus en plus fréquents. Par conséquent, les gestionnaires de l'eau doivent non seulement mettre en place des actions qui soient efficaces à l'échelle locale mais en plus s'assurer que ces actions soient efficaces dans le temps.

Toutefois, les tendances d'évolution des modes d'usage des sols et des structures paysagères inquiètent les gestionnaires de l'eau. La régression du bocage, le drainage et/ou la fermeture des zones humides de fonds de vallées observés en Bretagne par exemple durant les 50 dernières années, associés à l'intensification de l'usage des surfaces cultivées depuis le milieu des années 1980, constituent des facteurs défavorables pour la préservation des ressources en eau. Aujourd'hui, alors que les modes de gestion et d'utilisation de l'espace rural par les exploitants agricoles sont de plus en plus fortement contraints par des facteurs socio-économiques (réforme de la PAC de 2006 par exemple) et structurels (agrandissement des exploitations agricoles par exemple), la question de l'évolution future des paysages agricoles bocagers se pose avec acuité aux gestionnaires de l'eau.

Dans ce contexte, la production de scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale peut *a priori* aider les gestionnaires de l'eau à mettre en place, de façon concertée avec les acteurs locaux, des programmes d'action visant une gestion durable de l'eau. L'exploration des évolutions possibles et différenciées à moyen ou long terme des modes d'occupation des sols et des structures paysagères peut leur permettre de mettre en évidence des leviers d'action, afin d'anticiper des changements futurs ou encore d'identifier des moyens à mettre en œuvre dès aujourd'hui pour s'assurer de l'efficacité et de la durabilité d'aménagements et/ou de mesures de gestion de l'eau.

Cependant, la production de scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale soulève un certain nombre de problèmes méthodologiques. Si la réalisation de scénarios prospectifs repose sur une méthodologie bien établie, la méthode des scénarios, leur spatialisation à cette échelle reste problématique. La production d'*images* plausibles et cohérentes, sous la forme de cartes, impose de prendre en compte la dimension spatiale à toutes les étapes de la démarche prospective.

Ainsi, le premier objectif de cette thèse était de mettre en place une méthodologie générique permettant de produire des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale portant sur l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères au sein

de paysages agricoles fragmentés. Fondée sur la méthode des scénarios de Godet (1992), la démarche adoptée se caractérise par l'intégration de la dimension spatiale tout au long de son déroulement. Elle se décline en quatre phases :

- La première phase consiste à choisir un ou plusieurs sites d'études représentatifs de la diversité paysagères et/ou agricoles et porteurs d'enjeux de gestion à moyen ou long terme.
- La seconde phase correspond à la construction de la « base » des scénarios. Elle vise à définir le système « paysage agricole bocager » : sa dynamique passée, son fonctionnement actuel et les facteurs de changement futurs. La détermination des trajectoires d'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères depuis une cinquantaine d'années a été réalisée à l'aide d'un SIG et de données de télédétection. La présentation des résultats obtenus à des acteurs locaux lors d'une réunion participative a contribué à identifier les facteurs explicatifs des changements observés. L'utilisation de données spatialisées et de l'analyse systémique a permis de les hiérarchiser et de décrire le fonctionnement du système. A la fin de cette étape, un certain nombre de paramètres influant potentiellement sur les évolutions futures ont été définis et des questions-clés portant sur le devenir des territoires étudiés ont été déterminées. Ces dernières constituent les hypothèses de départ utilisées pour la construction des scénarios prospectifs.
- La troisième phase correspond à l'élaboration des scénarios prospectifs spatialisés. Le choix du type de scénario, exploratoire ou normatif, contrasté ou tendanciel, etc.… a été réalisé de façon à mettre en valeur l'impact d'un ou plusieurs facteurs clés précédemment identifiés sur l'évolution du paysage étudié. Ensuite, des méthodes de spatialisation adaptées aux scénarios sont mises en oeuvre de façon à donner une dimension spatiale aux scénarios prospectifs élaborés dans la phase précédente. Dans notre cas, les scénarios exploratoires ont été construits à l'aide de la plateforme de modélisation L1, tandis que les scénarios normatifs ont été élaborés à partir d'un SIG.
- La dernière phase inclue d'une part l'estimation et la localisation des changements, et d'autre part l'évaluation de leurs impacts sur le plan environnemental. Un certain nombre de descripteurs des changements intervenus au niveau des modes d'usage des sols et des structures paysagères ont permis de les évaluer quantitativement et d'estimer leurs conséquences en particulier sur les ressources en eau.

Cette démarche méthodologique générique permet d'envisager la construction de scénarios prospectifs spatialisés, grâce à l'identification des processus qui font évoluer un territoire et des facteurs de changements futurs. Elle doit permettre *in fine* d'effectuer des préconisations et/ou de définir des actions efficaces et durables.

Le second objectif de cette thèse était de produire, de façon réaliste, des scénarios prospectifs spatialisés à une échelle fine. La manière dont le temps est pris en compte dans les scénarios, contraint fortement le choix des méthodes de spatialisation. L'analyse bibliographique des types de modélisations des changements d'occupation et d'utilisation des sols a clairement montré que si les modèles dynamiques semblent particulièrement adaptés dans le cas des scénarios exploratoires, il n'en est pas de même pour les scénarios normatifs, où le temps est considéré de façon rétrospective. Le recours à des méthodes permettant de représenter des états successifs est alors à envisager.

Dans le cas des **scénarios exploratoires**, un certain nombre de modèles permettent de produire des scénarios prospectifs spatialisés. Toutefois, les travaux d'Agarwal (2002) et une étude comparative des modèles et plateformes de modélisation existants ont montré que très peu d'entre eux permettent de réaliser des simulations dynamiques et spatialement explicites à long terme et à l'échelle parcellaire. La plateforme L1 (Gaucherel *et al.,* 2006) à partir de laquelle une application spécifique au paysage agricole bocager a été développée et optimisée, est la plus adaptée. Sa spécificité tient à (1) la description discontinue et évolutive du paysage sur le plan géométrique et attributaire, (2) l'intégration des interactions spatiales entre des variables représentées aux mêmes échelles (relations topologiques) ou à différentes échelles (relations multi-scalaires), (3) une gestion souple de la dynamique temporelle (tous les pas de temps possibles) et (4) une modélisation des décisions humaines et des forçages naturels. Ainsi, les processus qui font évoluer un paysage agricole bocager ont été modélisés (successions culturales, création/arasement de haies, reprise des exploitations agricoles…). La validation de la capacité de la plateforme à simuler des évolutions passées a permis de démontrer que les simulations produites par L1 permettent de réaliser des simulations réalistes, cohérentes et plausibles. Au final, la plateforme L1 permet de rendre compte annuellement de l'influence d'un facteur ou de l'interaction de plusieurs facteurs de changement (ex : modification des assolements après la réforme de la PAC, agrandissement des exploitations agricoles) sur l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères (nombre et importance des changements, distribution spatiale).

Dans le cas des **scénarios normatifs**, la spatialisation de scénarios prospectifs a été réalisée à l'aide d'un SIG. Si le principe de spatialisation apparaît beaucoup moins complexe que celui des scénarios exploratoires, la représentation des états successifs issus des scénarios normatifs est enrichie par les processus identifiés lors de la construction de la « base » et par les connaissances fournies par les scénarios exploratoires (influence de certains facteurs de changement, interactions entre facteurs). Ainsi, la transcription spatiale des *images* a été réalisée de façon réaliste à l'aide de requêtes suivant des critères attributaires et/ou géographiques permettant à l'utilisateur de savoir où les changements auront lieu préférentiellement.

D'une façon générale, quels que soient le type de scénarios et la méthode mise en place pour le spatialiser, la modélisation prospective est fortement contrainte par les données d'entrée nécessaires au bon fonctionnement du modèle. La donnée essentielle est la donnée foncière. Dans le cas des paysages agricoles, l'identification des territoires d'exploitations à l'échelle parcellaire est capitale pour comprendre et analyser l'usage des parcelles agricoles et déterminer leur devenir. La spatialisation des scénarios à une échelle fine, l'échelle de la haie et de la parcelle agricole, offre également l'avantage de localiser et de quantifier précisément les changements et en outre de coupler les résultats des scénarios à des modèles environnementaux.

Le troisième et dernier objectif de cette thèse était de produire des scénarios prospectifs spatialisés qui constituent un outil d'aide à la décision destiné aux acteurs locaux et aux gestionnaires. Le choix du terrain d'application de ces recherches s'est porté sur la Bretagne, une région caractérisée par un contexte agricole intensif, où la qualité de l'eau représente un enjeu majeur depuis plus de deux décennies. Plus précisément, les recherches ont été menées sur le bassin versant du Blavet particulièrement adapté à des recherches portant sur la prospective : l'élaboration actuellement en cours du SAGE du Blavet prévoit l'utilisation de scénarios prospectifs pour élaborer un programme de gestion durable de l'eau à long terme. Par ailleurs, il présente une diversité de paysages agricoles bocagers, ce qui permet de tester la reproductibilité des méthodes de spatialisation sur d'autres territoires. Les

scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale ont été réalisés sur trois sous-bassins versants du blavet : le Lestolet, le Coët-Dan et le Stang Varric. Ces sites de quelques dizaines de Km² sont représentatifs de cette diversité et présentent des contextes agricoles variés. Sur ces territoires, les scénarios visaient à mettre en évidence (1) l'influence respective de la réforme de la PAC de 2006 et de l'agrandissement des exploitations agricoles sur l'évolution des modes d'occupation des sols, (2) l'influence de changements de structures foncières sur l'évolution des modes d'occupation des sols et des structures paysagères, (3) l'influence d'évolutions très contrastées des paysages agricoles bocagers et (4) leurs conséquences sur les ressources en eau.

Un certain nombre de scénarios prospectifs exploratoires et normatifs ont été réalisés. Si les données disponibles n'ont pas permis de réaliser l'ensemble de ces scénarios sur les trois sites d'études, ils ont néanmoins **produit des connaissances utiles pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux.**

Des scénarios exploratoires ont permis d'évaluer l'influence de la réforme de la PAC de 2006 et de l'agrandissement des exploitations agricoles sur l'évolution des modes d'occupation des sols à l'horizon 2020 :

- **La PAC 2006** peut avoir diverses répercussions sur les systèmes de production agricoles. Deux scénarios contrastés représentant deux stratégies opposées d'adaptation à cette réforme (stratégies « Option herbe » et « Option céréales ») ont été comparés à un scénario où l'influence de la PAC est considérée comme négligeable (stratégie « *Business as usual* »). Les scénarios ont été réalisés sur les trois sites d'études. Les proportions de surfaces en herbe augmentent de 7 à 12% selon les sites dans le cas de la stratégie « Option herbe » et de 3 à 5% pour les céréales dans le cas de la stratégie « Option céréales ». Ces deux stratégies tendent à faire légèrement diminuer la part du maïs (2 à 5%) et les risques liés à cette culture (baisse de la fréquence de retour, etc.). Par ailleurs, la stratégie « Option herbe » favorise un ralentissement de la fermeture des zones humides, contrairement à la stratégie « Option céréales ».

  Les scénarios prospectifs spatialisés ont montré que les sites dominés par une production laitière, le Lestolet et le Stang Varric, présentent une sensibilité plus forte aux stratégies contrastées que le site du Coët-Dan.

- **L'agrandissement des exploitations agricoles** a été testé sur le Lestolet pour lequel des données précises et exhaustives sont disponibles (âge des exploitants, mise aux normes des bâtiments, …). Les résultats montrent que ce facteur tend à faire légèrement augmenter, de 3% en moyenne, la part en cultures (maïs, céréales) quelle que soit la stratégie adoptée. Ils témoignent aussi d'une profonde modification de la répartition spatiale des cultures : elles tendent à se regrouper en îlots de cultures de plus en plus grands à l'échelle du bassin versant avec des répercussions potentielles sur la gestion du bocage (arasement des haies). D'autre part, l'agrandissement des exploitations agricoles accélère la fermeture des zones humides. Au final, l'agrandissement des exploitations semble accroître les risques de dégradation de la qualité de l'eau.

D'autres scénarios exploratoires ont cherché à mettre en évidence l'impact des changements fonciers (agrandissement des exploitations, du parcellaire et restauration des haies de ceinture) sur les transferts de flux de surface et de sub-surface.

- **L'agrandissement du parcellaire et l'évolution de la structure bocagère** modifient légèrement la répartition spatiale des modes d'occupation des sols. Ces répercussions sont accentuées dès lors que la structure des exploitations évolue.

- Le couplage de ces scénarios prospectifs exploratoires avec des modèles de transfert de flux a mis en évidence l'importance des pratiques de fertilisation raisonnées et les effets très localisés de la restauration des haies de ceinture sur le site du Lestolet qui présente une forte densité bocagère.

Au final, les scénarios exploratoires ont mis en avant le rôle clef des exploitations agricoles et plus particulièrement de la mosaïque des exploitations (leur organisation spatiale et leur système de production) sur les évolutions futures possibles des paysages agricoles bocagers. La PAC 2006, l'agrandissement des exploitations et du parcellaire induisent des changements subtils à l'échelle d'un bassin versant. Ces changements sont d'autant plus subtils que, d'une exploitation à l'autre, les effets cumulés de ces facteurs ne sont pas linéaires.

Les scénarios normatifs visaient à mettre en exergue l'ensemble des conditions nécessaires pour atteindre des situations très contrastées sur le plan des paysages agricoles futurs. Trois scénarios ont été produits sur le Lestolet à partir d'hypothèses contrastées sur la situation future des modes d'occupation des sols, du bocage et des zones humides de fonds de vallées :

- Le premier scénario prévoit une rupture franche dans les modes d'usage des terres, grâce aux efforts conséquents des gestionnaires de l'eau et des acteurs locaux. La spécialisation dans la production laitière s'accompagne d'une modification des modes de production et de gestion des territoires des exploitations. Le passage à une gestion extensive, l'entretien du bocage et la restauration des zones humides de fonds de vallées permettent d'atteindre les objectifs de la DCE dès 2015.
- Le second scénario, qui se situe dans le prolongement des trajectoires d'évolution actuelle, prévoit une intensification des productions agricoles avec notamment l'explosion des productions végétales génétiquement modifiées (maïs, céréales) en lien avec le développement des biocarburants. Les conséquences environnementales sont importants : hausse des concentrations azotées, eutrophisation des cours d'eau, baisse sensible de la biodiversité.
- Le troisième et dernier scénario est un scénario de bouleversement. Les contraintes socio-économiques et environnementales provoquent un découplage entre l'utilisation du sol et l'agriculture. Si les conséquences sur les ressources en eau sont positives, les impacts sur le tissu rural sont négatifs.

La reconstitution des cheminements pour les trois scénarios a clairement mis en évidence d'une part, l'importance des contraintes socio-économiques qui pèsent sur l'agriculture et par corollaire sur l'évolution des paysages agricoles bocagers, et d'autre part, l'importance des synergies à mettre en place entre gestionnaires de l'eau et acteurs locaux. Par exemple, les zones humides constituent des espaces qui font l'objet d'une convergence d'intérêts pour l'ensemble de ces acteurs. **Mais ils ont aussi mis en évidence que la gestion spatiale de l'eau ne doit pas seulement être perçue comme un outil « technique » de gestion de l'eau, mais bien comme une fonction d'entretien et d'aménagement de l'espace qui s'envisage dans la durée.**

L'ensemble des connaissances apportées par les scénarios prospectifs spatialisés, aussi bien exploratoires que normatifs, sont complémentaires et peuvent aider à la gestion durable de l'eau. Leur restitution auprès des gestionnaires de l'eau et des acteurs locaux du bassin versant du Lestolet a mis en exergue leur rôle d'outil d'aide à la décision. Ainsi, la dimension spatiale des scénarios prospectifs permet :

- la compréhension des processus qui font évoluer un paysage agricole bocager et la quantification des impacts de facteurs de changements ;
- d'évaluer les conséquences des changements des modes d'occupation des sols et des structures paysagères sur les ressources en eau ;
- de placer, lors de réunions participatives, les acteurs concernés « en situation » dans un contexte territorial concret qui facilite le dialogue, la prise de conscience des contraintes respectives, et favorise leur implication dans une démarche participative ;
- la localisation de zones sensibles où des actions de sensibilisation voire d'aménagements doivent être envisagés ;
- la détermination de préconisations et de leviers d'actions pour une gestion durable de l'eau. Par exemple, les scénarios permettent de cibler les agriculteurs auprès desquels des actions de sensibilisation sur la nécessité d'implanter des couverts hivernaux ou d'adopter des pratiques de fertilisation raisonnée doivent être menées. Autre exemple, la question de la gestion du foncier lors des reprises d'exploitations constitue un enjeu fort pour les gestionnaires de l'eau.

La complémentarité des types de scénarios prospectifs exploratoires et normatifs, de même que leur spatialisation, contribuent à mettre en place une gestion durable de l'eau de façon participative et concertée avec les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux. Le débriefing des scénarios avec les acteurs concernés a permis d'identifier collectivement des enjeux décisionnels liés aux dynamiques spatiales mises en évidence. Toutefois, il a également mis en avant les limites de scénarios : l'élaboration de stratégies d'action à long terme nécessite un accompagnement des acteurs.

Ces conclusions nous amènent à envisager des **perspectives de recherche** au niveau de la démarche prospective elle-même ainsi que des méthodes de spatialisation des scénarios, afin d'optimiser l'utilisation des scénarios pour l'aide à la décision.

La démarche prospective engagée sur le Blavet, et plus précisément sur trois de ses sous bassins versants, **nécessite encore un certain nombre d'ajustements, de développements et de validations.**

D'abord, les travaux effectués n'ont pas permis de tester, sur les trois sites retenus ou sur d'autres sites, l'ensemble des hypothèses d'évolution envisagées à l'origine. Si le bassin versant du Lestolet a fait l'objet de scénarios ayant permis d'identifier des moyens d'actions favorables à une gestion durable de l'eau, il n'a pas été possible, faute de données disponibles, de démontrer que les effets de l'agrandissement des exploitations sont identiques dans le cas du Coët-Dan et du Stang Varric, situés dans des contextes agricoles et paysagers très différents. La construction de scénarios prospectifs spatialisés sur ces sites laisse entrevoir la possibilité de définir les actions à réaliser pour améliorer durablement la qualité de l'eau selon des stratégies différenciées et d'identifier de nouveaux leviers d'actions pour atteindre cet objectif.

Ensuite, l'élaboration de scénarios prospectifs à une échelle locale soulève **la question de l'extrapolation des résultats**. Ainsi, les résultats obtenus sur les trois sites d'études pourraient aider à élaborer des stratégies d'action sur d'autres territoires aux paysages agricoles bocagers similaires, et dont l'historique et le fonctionnement actuel sont comparables à ceux des trois sites.

Enfin, **cette démarche prospective nécessite, pour être validée, d'être expérimentée sur d'autres types de paysages agricoles,** comme par exemple des paysages de grandes cultures. Les premiers résultats obtenus sur un site américain, d'environ 85 Km² et situé en bordure de la *Corn Belt*, dans un paysage d'openfield semblent le confirmer.

Les perspectives relatives aux méthodes de spatialisation des scénarios prospectifs sont nombreuses.

Dans le cas des scénarios exploratoires, la plateforme L1 peut ainsi bénéficier d'améliorations : Tout d'abord, l'optimisation de fonctions permettant de réduire les temps de calcul, développement de nouvelles actions afin de rendre les simulations plus réalistes, par exemple la possibilité de reprise des parcelles d'exploitation par plusieurs exploitants au lieu d'un seul. Ensuite, la plateforme L1 est encore à l'état de prototype. Sa pérennité tient au développement d'une plateforme logicielle conviviale et portable, qui reste suffisamment ouverte et dynamique pour être appliquée à des paysages ruraux très différents, ce qui nécessite de modéliser de nouveaux processus. Enfin, le couplage de la plateforme L1 avec un SMA destiné à modéliser les processus de décisions des exploitants agricoles tel que le choix des stratégies d'adaptation à la PAC par exemple, pourrait apporter de nouvelles connaissances : Il est tout à fait envisageable d'observer l'émergence de nouvelles dynamiques spatiotemporelles de changements d'occupation des sols et de structures paysagères liées à la communication inter-agents.

Au niveau **des méthodes de spatialisation des scénarios normatifs**, il apparaît possible d'améliorer la représentation des images construites, les cartes en deux dimensions ne facilitant pas toujours la compréhension des évolutions d'un paysage. Ainsi, le couplage des données SIG avec des modèles de **conception de vues paysagères numériques faciliterait la participation des acteurs et décideurs**.

Enfin, la démarche prospective spatialisée que nous avons adoptée pourrait être articulée avec d'autres démarches prospectives. De nombreux modèles produisant des scénarios prospectifs spatialisés, tel que CLUE, adoptent une démarche *top-down*, et cherchent aujourd'hui à affiner la résolution des résultats qu'ils produisent. Notre démarche est de type *bottom-up*, partant du principe que le paysage est un assemblage d'éléments qui interagissent et évoluent simultanément à plusieurs échelles spatiales et temporelles. Tout d'abord, il serait intéressant de comparer les résultats de ces deux modèles sur un même site et selon un scénario identique. Ensuite, il serait possible de définir des critères destinés à faciliter le choix du modèle le plus adapté à la réalisation de scénarios prospectifs spatialisés, selon les caractéristiques des sites d'étude, les enjeux à éclairer, les échelles considérées, et les données disponibles. Enfin, l'étude comparée de leurs limites et de leurs potentialités respectives pourrait permettre, le cas échéant, d'envisager le couplage de ces modèles, afin d'optimiser la modélisation des changements d'occupation et d'utilisation des sols à différentes échelles spatio-temporelles.

Pour conclure, grâce à l'apport de la dimension spatiale, dimension privilégiée par la géographie, à la prospective, **il est désormais envisageable d'utiliser des scénarios prospectifs spatialisés en tant qu'outil d'aide à la décision à une échelle locale, dans le cadre d'une démarche participative impliquant tous les acteurs concernés.**

BIBLIOGRAPHIE

A

(1) ABRAMI G., 2004, *Niveaux d`organisation dans la modélisation multi-agent pour la gestion de ressources renouvelables. Application à la mise en œuvre de règles collectives de gestion de l`eau agricole dans la basse-vallée de la Drôme.* Thèse de doctorat, ENGREF Spécialité Sciences de l`Eau, Montpellier, 2004, 423 p. pdf

(2) ABUELGASIM A.A., ROSS W.D., GOPAL S. and WOODCOCK C.E., 1999, Change detection using adaptative fuzzy neural networks : Environmental damage assessment after the Gulf war, *Remote Sensing of Environment*, vol. 70, pp. 208-223

(3) ADASEA 22, 2002, Etat des lieux paysager et bocager du territoire de la communauté de communes du Mené, Rapport d'étude, *ADASEA Service Etude*, 131 p.

(4) ADASEA 22, 2003, Inventaire des zones humides du bassin versant du Haut-Blavet, Rapport d'étude, 55 p.

(5) AGARWAL C., GREEN G.L., GROVE M., EVANS T. and SCHWEIK C., 2000, A review and assessment of land-use change models : Dynamics of space, time and human choice, General Technical Report NE-297, *U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station*, 67 p. pdf

(6) Agence de l'eau Loire-Bretagne, http://www.eau-loire-bretagne.fr

(7) Agence de l'eau Loire-Bretagne, 1996, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, *Agence de l'eau Loire-Bretagne*, 108 p. (hors annexes)

(8) Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2000, La protection de la ressource en eau dans les bassins versants, *L'eau en Loire-Bretagne*, Octobre, n°70, 40 p.

(9) AGRESTE, 1998, *1970-1997 : La mutation de l'agriculture bretonne*, Agreste Bretagne, Ministère de l'agriculture et de la pêche, n°28, 25 p.

(10) AGRESTE, 2003, *Tableaux de l'agriculture bretonne*, Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt, 176 p.

(11) ALCAMO J., LEEMANS R. and KREILEMAN E., 1998, *Global Change Scenarios of the 21th Century, Results from the IMAGE 2.1 Model*, Pergamon, Elsevier Sciences, 296 p.

(12) ANTOINE A., 2002, *Le paysage de l'historien : Archéologie des bocages de l'ouest de la France*, Presses Universitaires de Rennes, 340 p.

(13) ANTONA M., BOUSQUET F., LEPAGE C., WEBER J., KARSENTY A. and GUIZOL P., 1998, *Economic theory of renewable resource management : A multi-agent system approach*, in *Multi-Agent Systems and Agent Based Simulation*, Ed. Springer, pp. 61-78

(14) AQUASCOP, 2001-a, La qualité de l'eau dans votre département : Côtes d'Armor entre 1997 et 1999, *RBDE Loire-Bretagne*, 104 p.

(15) AQUASCOP, 2001-b, La qualité de l'eau dans votre département : Morbihan entre 1997 et 1999, *RBDE Loire-Bretagne*, 82 p.

(16) AQUASCOP, 2004-a, La qualité de l'eau dans votre département : Côtes d'Armor entre 2000 et 2002, *RBDE Loire-Bretagne*, 104 p.

(17) AQUASCOP, 2004-b, La qualité de l'eau dans votre département : Morbihan entre 2000 et 2002, *RBDE Loire-Bretagne*, 82 p.

(18) AScA, 2000, Impact environnemental de la culture du maïs dans l'Union Européenne - Etude de cas Bretagne, Rapport d'étude, *Commission européenne (DG XI)*, 81 p. pdf

(19) AScA, 2003, Etablissement de scénarios pour l'élaboration du SAGE Blavet - Un scénario tendanciel pour le Blavet, Rapport préparatoire du bureau de la CLE du 12/12/2003, *SAGE Blavet*, 49 p.

(20) AUCLAIR D., BARCZI J.F., BORNE F. and ETIENNE M., 2001, Assessing the visual impact of agroforestry management with landscape design software, *Landscape research*, vol. 26, pp. 397-406

(21) AUROUSSEAU P., 2000, Les flux d'azote sortant des bassins versants de Bretagne pendant la période 1980-2000 web

(22) AUROUSSEAU P., 2001, Le phosphore dans les sols et les eaux en Bretagne web

(23) AYRAUD V., 2005, *Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes*, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, 299 p.

B

(24) BAKER J.P., HULSE D.W., GREGORY S.V., WHITE D., VAN STICKLE J., BERGER P.A., DOLE D. and SCHUMAKER N.A., 2004, Alternative futures for the Willamette river basin, Oregon, *Ecological Application*, vol. 14, n°2, pp. 313-324

(25) BATTY M. and XIE Y., 1994, From cells to cities, *Environment Planning B*, vol. 21, pp. 31-48

(26) BATTY M. and TORRENS P.M., 2001, Modeling complexity : the limits to prediction, *Cybergéo*, n°201, pp. 1-17 web

(27) BAUDRY J., BUREL F., AVIRON S., MARTIN M., OUIN A., PAIN G. and THENAIL C., 2003, Temporal variability of connectivity in agricultural landscape: do farming activities helps?, *Landscape ecology*, vol. 18, n°3, pp. 303-314

(28) BAUDRY J. et JOUIN A., 2003, *De la haie aux bocages : organisation, dynamique et gestion*, INRA Editions, 453 p.

(29) BAUDRY J. and THENAIL C., 2004, Interaction between farming systems, riparian zones, and landscape patterns : a case study in western France, *Landscape and urban planning*, vol. 67, pp. 121-129

(30) BEAUJOUAN V., DURAND P. and RUIZ L., 2001, Modelling the effect of the spatial distribution of agricultural practices on nitrogen fluxes in rural catchments, *Ecological Modelling*, Vol. 137, n°1, pp. 93-105

(31) BENEDIKTSSON J.A., SWAIN P.H. and ERSOY O.K., 1990, Neural network approaches versus statistical methods in classification of multisource remote sensing data, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 28, n°4, pp. 540-551

(32) BENOIT M., 1990, La gestion territoire de l'activité agricole dans un village lorrain, *Mappemonde*, n°4, pp. 15-17 pdf

(33) BENOIT M., CAPITAINE M. et LE BER F., 2005, *Méthodes de représentation des règles d'organisation des territoires agricoles*, in *Agricultures et Territoires*, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp. 191-206

(34) BERGER G., 1957, Sciences humaines et prévision, *Revue des Deux Mondes*, n°3, pp. 417-426

(35) BERGER G., 1958, L'attitude prospective, *Prospective*, n°1, pp. 1-10

(36) BERGER G. *et al.*, 1967, *Les étapes de la prospective*, Textes réunis par Claude Soucy, Bibliothèque de prospective, Presses Universitaires de France, Paris, 337 p. pdf

(37) BERGER T., GOODCHILD M.F., JANSSEN M., MANSON S., NAJLIS R. and PARKER D.C., 2002, Methodological considerations for agent-based modeling of land-use and land-cover change, *LUCC Report series n°6, Report and review of an International Workshop, Irvine, California, USA, October 4-7, 2001*, Louvain-la-Neuve, pp. 7-25

(38) BIRNIR B., SMITH T.R. and MERCHANT G.E., 2001, The scaling of fluvial landscapes, *Computers and Geosciences*, vol. 27, pp. 1189-1216

(39) BOCHER E. et BEDEL O., 2004, Odissés 1.0 : Outils distribués pour la spatialisation des écoulements superficiels, Didacticiel, *Laboratoire RESO UMR 6590 CNRS*, 27 p. zip

(40) BOCHER E., 2005, *Impacts des activités humaines sur le parcours des écoulements de surface dans un bassin versant bocager : essai de modélisation spatiale"*, Thèse de doctorat, Université de Rennes 2 - Haute Bretagne, 337 p.

(41) BOERNER R.E.J., DEMERS M.N., SIMPSON J.W., ARTIGAS F.J., SILVA A. and BERNS L.A., 1996, Markov Models of inertia and dynamic on two contiguous Ohio landscapes, *Geographical Analysis*, vol. 28, pp. 56-66

(42) BONNEFOY, BOUSQUET F. et ROUCHIER, 2001, Modélisation d'une interaction individus, espace et société par les systèmes multi-agents : pâture en forêt virtuelle, *L'espace géographique*, n°1, pp. 13-25

(43) BOUSQUET F., BAKAM I., PROTON H. and LE PAGE R., 1998, Cormas : Common-pool Resources and Multi-Agent Systems, *Lecture notes in Artificial Intelligence*, vol. 1416, pp. 826-837

(44) BOUSQUET F., 2001, *Modélisation d'accompagnement : Simulations multi-agents et gestion des ressources naturelles et renouvelables*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Lyon 1, 71 p. pdf

(45) Bretagne Eau Pure, http://bretagne-eau-pure.org

(46) Bretagne Environnement, http://www.bretagne-environnement.org/

(47) BRIASSOULIS H., 1999, *Analysis of land-use change : Theorical and modelling approaches*, The web book of regional Science, Regional Research Institute, West Virginia University web

(48) BROSSARD T. et WIEBER J.-C., 1984, Le paysage, trois définitions. Un mode d'analyse et de cartographie, *L'espace géographique*, vol. 13, n°1, pp. 5-12

(49) BRUNET R. et FREMONT H., 1972, *La France de l'Ouest*, Collection "Découvrir la France", Larousse, Paris, Tome 1, 328 p.

(50) BRUNET R., 1986, Chorèmes et modèles, *Mappemonde*, Montpellier, GIP RECLUS, n°4 (Numéro spécial), 48 p.

(51) BRUNET R., 1990, *A quoi sert la chorématique*, in *Modèles graphiques et représentations spatiales*, Ed. André Y., Bailly A., Clary M., Ferras R. et Guerin J.-P. (dir.), Anthropos-RECLUS, pp. 27-39

(52) BUREL F., BAUDRY J., THENAIL C. and LE COEUR D., 2000, *Relationships between farming systems and ecological patterns along a gradient of bocage landscapes*, in *Consequences of land use changes*, Ed. Mander Ü. and Jongman R.G.H., WIT press, pp. 227-246

(53) BUREL F. and BAUDRY J., 2003, *Landscape ecology: concepts, methods and applications*, Science Publishers, 362 p.

(54) BÜRGI M., HERSPERGER A.M. and SCHNEEBERGER N., 2004, Driving forces of landscape changes - current and new directions, *Landscape ecology*, vol. 19, pp. 857-868

C

(55) CANEVET C., 1992, *Le modèle agricole breton*, Presses Universitaires de Rennes, 397 p.

(56) CARPENTER G.A., GOPAL S., MACOMBER S., MARTENS S. and WOODCOCK C.E., 1999, A neural network method for mixture estimation for vegetation mapping, *Remote Sensing of Environment*, vol. 70, pp. 138-152

(57) CAUBEL V., 2001, *Influence de la haie de ceinture de fond de vallées sur les transferts d'eau et de nitrate*, Thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieur d'Agronomie, 155 p. pdf

(58) CAZES B., 1986, *Histoire des futurs. Les figures de l'avenir de Saint-Augustin au XXIème siècle*, Seghers, Paris, 475 p.

(59) CESR de Bretagne, 2003, Le défi de la qualité de l'eau en Bretagne, *Conseil Economique et Social Régional de Bretagne*, 483 p. (hors annexes) pdf

(60) CHAMUSSY H., CHARRE J., DUMOLARD P., DURAND M.-G. et LE BERRE M., 1994, *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*, Masson, Paris, 203 p.

(61) CHANTIGNY M. H., 2003, Dissolved and water-extractable organic matter in soils: a review on the influence of land use and management practices, *Geoderma*, vol. 113, pp. 357-380

(62) CHENG T., 2005, *Multi-scale spatio-temporal data modeling, analysing and reasoning*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Strasbourg - Sun Yat-Sun University (China), 191 p.

(63) CHEVERRY C., 1998, *Agriculture intensive et qualité des eaux*, INRA Editions, Versailles, 298 p.

(64) CLARK W.C. and MUNN R.E. (dir.), 1986, *Sustainable development of the Biosphere*, IIASA, Cambridge University Press, 491 p.

(65) CLEMENT B., HUBERT-MOY L., HOUET T. et AIDOUD A., 2004, Délimiter pour évaluer et spatialiser les fonctions des zones humides de fonds de vallées, *Savoirs et savoirs-faires sur les bassins versants, Pollution de l'eau et dynamique de restauration de sa qualité,* 20-22 avril 2004, Vannes, France, pp. 183-184

(66) CLEMENT J.-C., 2001, *Les zones humides de fonds de vallées et la régulation des pollutions azotées diffuses*, Thèse de doctorat, Université de Rennes 1, 184 p.

(67) CLEMENT J.C., PINAY G. and MARMONIER P., 2002, Seasonal dynamics of denitrification along catenas in three riparian wetlands with different vegetation cover, *Journal of Environmental Quality*, vol. 31, n°3, pp. 1025-1037

(68) CODD E.F., 1968, *Cellular Automata*, Academic Press, New York, 122 p.

(69) COMIFER, 2002, Lessivage des nitrates en système de cultures annuelles, diagnostic du risque et propositions de gestion de l'interculture, Rapport, 60 p. web

(70) Commissariat Général au Plan, 1964, *Réflexions pour 1985*, La documentation française, 157 p. pdf

(71) CONGLETON W.R., PEARCE B.R. and BEAL B.F., 1997, A C++ implementation of an individual/landscape model, *Ecological Modelling*, vol. 103, pp. 1-13

(72) Conseil Général des Côtes d'Armor, 1999, Lutte préventive et curative contre la prolifération des marées vertes, Conception d'un programme d'actions préventives en Baie de Lannion, Diagnostic approfondi des bassins versants du Yar et du Roscoat, Diagnostic des systèmes de production et des pratiques agricoles, Rapport SCE/FEDR/CG 22/CA22, BEP II, 71 p. (hors annexes)

(73) Conseil Régional de Bretagne, 2002, Bretagne 2015, exercice de prospective régionale, Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire, *Conseil Régional de Bretagne* web

(74) Conseil Régional de Bretagne, 2003, Bretagne 2015, Enseignements de la concertation et perspectives, Schéma Régional d'Aménagement et de Développement du Territoire, *Conseil Régional de Bretagne*, 69 p. web

(75) COQUILLARD P. et HILL D. R. C., 1997, *Modélisation et simulation d'écosystèmes. Des modèles déterministes aux simulations à évènements discrets*, Masson, Paris, 273 p.

(76) CORGNE S., 2004, *Modélisation prédictive de l'occupation des sols en contexte agricole intensif : application à la couverture hivernale des sols en Bretagne*, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 2 - Haute Bretagne, 226 p. pdf

(77) CORGNE S., 2005, Hiérarchisation des facteurs de changements de l'occupation hivernale des sols - Application au bassin versant du Yar (Bretagne), *Norois*, vol. 193, pp. 17-29

(78) COSTANZA R. and VOINOV A., 2004, *Landscape simulation modelling. A spatially explicit, dynamic approach*, Springer, New-York, 330 p.

(79) COTONNEC A., 1998, *Paysage et occupation du sol par télédétection : Application au bassin versant du Blavet*, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 2 - Haute Bretagne, 339 p.

(80) COTONNEC A. et DUPONT N., 2004, Pourquoi un SAGE ? L'exemple du Blavet, *Savoirs et savoirs-faires sur les bassins versants, Pollution de l'eau et dynamique de restauration de sa qualité,* 20-22 avril 2004, Vannes, France, pp. 327-328

(81) CREWS-MEYER K.A., 2002, Characterizing landscape dynamism using panelled-pattern metrics, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 68, n°10, pp. 1031-1040

D

(82) DATAR, 1971, *Scénarios d'aménagement du territoire*, série "Travaux et recherches de prospective", DATAR, La documentation française, Paris, 126 p. pdf

(83) DAUCE P. et LEON Y., 1982, L'évolution de l'agriculture bretonne depuis 1850, quelques données, *INRA Rennes, Sciences Agronomiques*, n°2, 41 p.

(84) DAUDE E., 2002, *Modélisation de la diffusion d'innovations par la simulation multi-agents. L'exemple d'une innovation en milieu rural*, Thèse de doctorat, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse, 327 p.

(85) DAUDE E., 2005, *Systèmes multi-agents pour la simulation en géographie : vers une Géographie Artificielle*, in *Modélisations en géographie : déterminismes et complexités*, Ed. Guermond Y., Hermès Science, Lavoisier, pp. 353-380

(86) de BARROS FERRAZ S.F., VETTORAZZI C.A., THEOBALD D. and BALLESTER M.V.R., 2005, Landscape dynamics of Amazonian deforestation between 1984 and 2002 in Central Rondônia, Brazil: assessment and future scenarios, *Forest ecology and management*, 204, pp. 67-83

(87) de COLIGNY F., ANCELIN P., CORNU G., COURBAUD B., DREYFUS P., GOREAUD F., GOURLET-FLEURY S., MEREDIEU C., ORAZIO C. and SAINT-ANDRE L., 2003, CAPSIS : Computer-Aided Projection for Strategies in Sylviculture : An open source simulator for stands dynamics models, *Proceedings of the IUFRO Working Party §5.01-04 Conference,* September 2002, Harrison, British Columbia, Canada, modèle CAPSIS web

(88) de JOUVENEL B., 1964, *L'art de la conjecture*, Editions du Rocher, Monaco, 369 p.

(89) de NIJS T.C.N., de NIET R. and CROMMENTUIJN L., 2004, Constructing land use maps of the Netherlands in 2030, *Journal of Environmental Management*, 72, pp. 35-42

(90) DECOUFLE A.-C., 1972, *La prospective*, Presses Universitaires de France, Paris, 124 p.

(91) DIREN, 2003, L'eau en Bretagne : bilan 2001, *Direction Régionale de l'Environnement*, 16 p.

(92) DIREN, 2004, L'eau en Bretagne : bilan 2003, *Direction Régionale de l'Environnement*, 16 p.

(93) DOUGUET J.-M. et SCHEMBRI P., 2000, Qualité de l'eau et agricultures durables : Une approche structurelle de l'évaluation des politiques publiques d'environnement appliquée à la région Bretagne, *CE3D - Centre d'Economie et d'Ethique pour l'Environnement et le Développement*, 68 p. pdf

(94) DUBOS-PAILLARD E., GUERMOND Y. et LANGLOIS P., 2003, Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire : le modèle SpaCelle, *L'espace géographique*, vol. 4, pp. 357-378

(95) DUCOS G., 2003, Prospective et changement climatique: six images du bassin versant de la Seine en 2050, Rapport de DEA, *Institut National Agronomique Paris-Grignon, Spécialisation "Economie de l'environnement et des ressources naturelles"*, 63 p.

(96) DURAND M.-G., 1983, *Expérience de modélisation dynamique en géographie pour des interventions en aménagement du territoire: le modèle AMORAL.*, Cheminements systémiques, Du modèle AMORAL à une réflexion théorique en Géographie, pp. 5-40

(97) DURAND P., GASCUEL-ODOUX C., KAO C. et MEROT P., 2000, Une typologie hydrologique des petites zones humides ripariennes, *Etude et gestion des sols*, vol. 7, n°3, pp. 207-218

E

(98) EASTMAN J.R., 2003, *Idrisi Kilimanjaro, Guide to GIS and Image Processing*, Clark University, 328 p.

(99) ELMOZNINO H., 1999, *Influence du cycle de vie individuel sur la dynamique spatiale d'une forêt mono spécifique. Analyse a travers un automate cellulaire*, Thèse de Doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis, 122 p.

(100) ENGELEN G., GEERTMAN S., SMITS P. and WESSELS C., 1999, *Dynamic GIS and strategic physical planning: a practical application*, in *Geographical Information and planning. Advances in spatial science*, Ed. J. Stillwell, S. Geertamn and S. Openshaw, Springer, pp. 87-111

(101) ENGELEN G., WHITE R. and de NIJS A.C.M., 2002, Environment Explorer : Spatial support system for the integrated assessment of socio-economic and environmental policies in the Netherlands, *1st Biennal Conference of the International Environmental Modelling and Software Society,* Lugano, pp.109-114

(102) EWERT F., ROUNSEVELL M.D.A., REGINSTER I., METZGER M.J. and LEEMANS R., 2005, Future scenarios of European agricultural land use: I. Estimating changes in crop productivity, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 107, pp. 101-116

F

(103) FALL A. and FALL J., 2001, A domain specific language for models of landscape dynamics, *Ecological Modelling*, vol. 141, pp. 1-18

(104) FATES N., 2001, *Les automates cellulaires : vers une nouvelle épistémologie ?*, Mémoire de DEA Histoire et Philosophie des sciences, Université Paris I Sorbonne, 79 p.

(105) FERBER J., 1995, *Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective*, InterEditions, 522 p.

(106) FERBER J., 2005, Introduction à une pensée multi-agent intégrale, *Ecole thématique "Modélisations et simulations multi-agents de systèmes complexes pour les Sciences Humaines et de la Société : principes et méthodes de conception et d'usage",* 19-24 Septembre, Porquerolles, France

(107) FLATRES P., 1979, L'évolution des bocages : la région Bretagne, *Norois*, n°103, pp. 303-320

(108) FLATRES P., 1986, *La Bretagne*, Presses Universitaires de France, Paris, 183 p.

(109) FLAXMAN M., HULSE D.W., FREEMARK K., BERNERT J., EILERS J., WHITE D. and RADOSEVICH S., 1996, Past, Present and Future Stresses on the Ecological Resources of the Mid-Willamette River Basin (Oregon), *11th Annual U.S. Landscape Ecology Symposium, International Association of Landscape Ecology,* Galveston, Texas, USA, web

(110) FLAXMAN M. and STEINITZ C., 2002, Alternative Futures for the Southern Region of Lake Biwa Kyoto, Japan web

(111) FOODY G., 1996, Relating the land-cover composition of mixed pixels to artificial neural network classification output, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 62, n°5, pp. 491-499

(112) FORMAN R.T.T. and GODRON M., 1981, Patches and structural components for a landscape ecology, *Bioscience*, vol. 31, pp. 733-740

(113) Futuribles, 1986, L'avenir hier, aujourd'hui, demain, *Futuribles*, n°100

G

(114) GALLANT A.L., LOVELAND T.R., SOHL T.L. and NAPTON D.E., 2004, Using an ecoregion framework to analyse land-cover and land-use dynamics, *Environmental Management*, vol. 34, Supplement 1 : Special issue - Ecoregion for environmental management, pp. 89-110

(115) GALLOPIN G.C., HAMMOND A., RASKIN P. and SWART R., 1997, Branch points : Global scenarios and human choices, Pole Star Series Report No. 7, *Stockholm Environment Institute*, Stockholm, Sweden, 55 p. pdf

(116) GAUCHEREL C., BAUDRY J., AUCLAIR D. et HOUILLER F., 2004-a, Etat de l'art de la modélisation du paysage, Rapport interne, *INRA-SAD Armorique*, Rennes, 31 p.

(117) GAUCHEREL C., FLEURY D., AUCLAIR A., BAUDRY J. and DREYFUS P., 2004-b, Forest modeling based on landscape ecology concepts. Landscape ecology of trees and forests, *Proceedings of the 12th annual IALE conference,* United Kingdom, pp. 309-312

(118) GAUCHEREL C., BAUDRY J., AUCLAIR D. and HOUILLER F., submitted, Landscape modelling : the state of the art, *Landscape ecology*,

(119) GAUCHEREL C., GIBOIRE N., VIAUD V., HOUET T., BAUDRY J. and BUREL F., 2006, A domain specific language for patchy landscape modelling : the Brittany agricultural mosaic as a case study, *Ecological Modelling*, vol. 194, n°1-3, pp. 233-243

(120) GESLOT S., 2005, *L'incidence de la réforme de la PAC 2006 sur les systèmes de production agricole bretons et sa répercussion sur l'occupation des sols*, Rapport de MASTER 2 Aménagement du Territoire - Option "Gestion de l'Environnement", Université de Rennes 2 - Haute Bretagne, 111 p.

(121) GIBOIRE N., 2004, *Modélisation du paysage : application à un paysage agricole réaliste*, Rapport de DESS CCI, IFSIC, Université de Rennes 1, 45 p.

(122) GIEC, 2001, WG1: "Climate Change 2001: The Scientific Basis", WG2: "Climate Change 2001 : Impacts, Adaptation and Vulnerability", WG3: "Climate Change 2001 : Mitigation", Rapport Scientifique, *Groupe Intergouvernemental d'Experts sur l'évolution du Climat* web

(123) GILARDEAU J.-M., 2000, *Code Rural*, 5ème édition, Ed. LITEC, 2295 p.

(124) GODET M., 1977, *Crise de la prévision, essor de la prospective*, Presses Universitaires de France, 188 p.

(125) GODET M., 1992, *De l'anticipation à l'action*, Dunod, 390 p.

(126) GOETZ S.J., SMITH A.J., JANTZ C., WRIGHT R.K. and PRINCE S.D., 2003, Monitoring and predicting urban land use change : Applications of multi-resolution multi-temporal satellite data, *IEEE International Geoscience And Remote Sensing Symposium,* July 2003, Toulouse, pp. 1567-1569

(127) GOPAL S. and WOODCOCK C.E., 1996, Remote sensing of forest change using artificial neural networks, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 34, n°2, pp. 398-403

(128) GRATALOUP C., 1993, Le même et l'autre : le renouvellement de la chorématique, *Espace Temps*, n° 51-52, Les Apories du territoires, pp. 143-196

(129) GRIFFITH J.A., STEHMAN S.V. and LOVELAND T.R., 2003-b, Landscape trends in Mid-Atlantic and Southeastern United States ecoregions, *Environmental Management*, vol. 32, n° 5, pp. 572-588

(130) GRIFFITH J.A., STEHMAN S.V., SOHL T.L. and LOVELAND T.R., 2003-a, Detecting trends in landscape pattern metrics over a 20-year period using sampling based monitoring programme, *International journal of Remote Sensing*, vol. 24, n°1, pp. 175-181

(131) GROUAZEL, 2002, Bocage et procédures d'aménagement rural dans le département du Morbihan : de la production de données... vers une évaluation des actions, *Observatoire Départementale de l'Environnement du Morbihan*, Vannes, 98 p.

H

(132) HAITH D.A., 1976, Land use and water quality in New York rivers, *Journal of Environmental Engineering*, vol. 102, pp. 1-15

(133) HATEM F., 1993, *La prospective : Pratiques et méthodes*, Economica, série "Gestion", Paris, 385 p.

(134) HE H.S., MLADENOFF D.J. and BOEDER J., 1999, An object-oriented forest landscape model and its representation of tree species, *Ecological Modelling*, vol. 119, pp. 1-19

(135) HENDERSON-SELLERS B., 1996, Towards a conceptual model of randomness, *Ecological Modelling*, vol. 85, pp. 303-308

(136) HERAULT J. et JUTTEN C., 1994, *Réseaux neuronaux et traitement du signal*, Collection Traité des nouvelles technologies, Série traitement du signal, Hermès, Paris, 320 p.

(137) HOUET T., 2000, *La pollution des eaux des Drains de Rennes 1 : diagnostic du risque de transfert des nitrates à l'aide d'un SIG*, Mémoire de maîtrise, Université de Rennes 2 - Haute Bretagne, 133 p. (hors annexes+atlas)

(138) HOUET T., 2002, *Modélisation du changement d'échelles en télédétection par réseau de neurones : application à l'évolution de l'occupation hivernale des sols en Bretagne*, Mémoire de DEA, Département de Géographie - Université de Rennes 2 Haute Bretagne, 114 p.

(139) HOUET T. et HUBERT-MOY L., 2004, Etude diagnostique de l'évolution de l'occupation des sols sur trois sous-bassins versants du Blavet (1952-2002), Rapport final, *Institution Interdépartementale du SAGE Blavet*, 95 p.

(140) HOUET T., GUERILLOT C. et QUETE Y., 2004-a, Les SIG, outils de diagnostic et de gestion de territoires agricoles. Application aux bassins versants de la Chèze-Canut et des Drains de Rennes 1, *Savoirs et savoirs-faires sur les bassins versants, Pollution de l'eau et dynamique de restauration de sa qualité,* 20-22 avril 2004, Vannes, France, pp. 173-174

(141) HOUET T., HUBERT-MOY L. et MERCIER G., 2004-b, Modélisation du changement d'échelles en télédétection par une méthode neuronale : application a l'étude de l'évolution de l'occupation hivernale des sols en Bretagne, *Cybergéo*, n°271, pp. 1-13 pdf

(142) HOUET T. and HUBERT-MOY L., 2006, Modelling and projecting land-use and land-cover changes with a cellular automaton considering landscape trajectories : an improvement for simulation of plausible future states, *EARSeL eProceedings*, n°5, pp. 63-76 pdf

(143) HOUET T. et GAUCHEREL C., sous presse, Simulation dynamique et spatialement explicite d'un paysage agricole bocager : validation sur un petit bassin versant breton pour la période 1981-1998, *Revue Internationale de Géomatique*, 28 p.

(144) HUBERT-MOY L., 1998, *Analyse de la structure spatiale de l'occupation des sols par télédétection*, in *Agriculture intensive et qualité des eaux*, Ed. C. Cheverry, Editions INRA, pp. 41-52

(145) HUBERT-MOY L., COTONNEC A., LE DU L., CHARDIN A. and PEREZ P., 2001, A comparison of classification procedures of remotely sensed data applied on different landscape units, *Remote Sensing of Environment*, vol. 75, n°2, pp. 174-187

(146) HUBERT-MOY L. et GASCUEL-ODOUX C., 2001, Les indices parcellaires de risque de transfert de polluants vers les eaux superficielles : de leur base conceptuelle à leur usage pour une approche intégrée à l'échelle du bassin versant, *Colloque "Hydrosystèmes, Paysages, et Territoires",* 6-8 septembre 2001, Lille, France, USTL Editions, pp. 21-32 web

(147) HUBERT-MOY L. *et al.*, 2002, Groupement Scientifique de Télédétection de Bretagne, http://www.uhb.fr/gstb

(148) HUBERT-MOY L., CLEMENT B., LENNON M., HOUET T. et LEFEUVRE E., 2003-a, Etude des zones humides de fonds de vallées à partir d'images hyperspectrales CASI : application à un bassin versant de la région de Pleine-Fougères (Bretagne, France), *Photo-Interprétation*, n°2003/01, pp. 41-48

(149) HUBERT-MOY L., HOUET T. et CORGNE S., 2003-b, Etude diagnostique de l'évolution de l'occupation des sols sur trois sous-bassins versants du Blavet (1952-2002), Rapport Intermédiaire, *Institution Interdépartementale du SAGE Blavet*, 96 p.

(150) HUBERT-MOY L., 2004, *Occupation du sol et télédétection : de l'inventaire à la modélisation prédictive*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Rennes 2 - Haute Bretagne, 327 p. (hors annexes) pdf

I

(151) IFEN, 2002, *L'environnement en France - Edition 2002*, Coédition IFEN / La découverte, 606 p.

(152) INRA, 1980, *JAC et modernisation de l'agriculture de l'Ouest*, Ed. Station d'Economie et de Sociologie Rurales, INRA Editions, Rennes, 208 p.

(153) INSEE, 1982, Recensement général de la Population, Données statistiques, Cd-rom

(154) INSEE, 1999, Recensement général de la population, Données statistiques, Cd-rom

(155) INSEE, 2001, *Projections démographiques : des scénarios pour la Bretagne*, Octant, n°87, 8 p.

(156) Institut de l'élevage, 2004, *Réforme de la PAC et production laitière : scénarios d'évolution à l'horizon 2010-2012*, Le Dossier Economie de l'Elevage, 70 p.

(157) IPCC, 2000, *Special report on emissions scenarios*, Cambridge University Press, Cambridge, 599 p.

J

(158) JAIN A.K. and MAO J., 1996, Artificial neural networks : a tutorial, *Computer*, vol. 29, n°3, pp. 31-44

(159) JANTZ C., GOETZ S.J., SMITH A.J. and SHELLY M., 2003, Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on land use in the Baltimore-Washington metropolitan area, *Environment Planning B*, 30, pp. 251-271

(160) JOANNON A., SOUCHERE V. et TICHIT M., 2005, *Analyse de la gestion spatialisée de l'exploitation agricole à partir de l'utilisation du parcellaire*, in *Agricultures et Territoires*, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp. 155-174

(161) JOLIVEAU T., 1996, Gérer l'environnement avec des S.I.G. Mais qu'est-ce qu'un S.I.G. ? *Revue de Géographie de Lyon*, vol. 71, n°2, pp. 101-110

(162) JOLIVEAU T., 2001, Informatique et paysage, *Support de formation - ENGREF, CRENAM / UMR CNRS 5600 - Université de Saint-Etienne* web

(163) JOLIVEAU T., 2004, *Géomatique et gestion environnementale du territoire. Recherches sur un usage géographique des SIG*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Rouen, 2 vol., 504 p. + non pag. web

(164) JOLIVEAU T. et MICHELIN Y., 2001, *Paysages et modèles spatiaux pour la prospective concertée d'un territoire rural*, in *Représentations spatiales et développement territorial*, Ed. Lardon S., Maurel P. et Piveteau V., Hermès, pp. 240-266

(165) JORGENSEN S.E. and BENDORICCHIO G., 2001, *Fundamentals of ecological modelling*, Third Edition, Elsevier, 530 p.

(166) JULIEN P.-A., LAMONDE P. et LATOUCHE D., 1975, *La méthode des scénarios : une réflexion sur la démarche et la théorie de la prospective*, série "Travaux et recherches de prospective", DATAR, La documentation française, Paris, 131 p. pdf

(167) JUNGERMANN H., 1985, Inferential processes in the construction of scenarios, *Journal of forecasting*, vol. 4, n°4, pp. 321-327

K

(168) KAHN H., 1984, *Thinking the unthinkable in the 1980's*, Simon and Schuster, 250 p.

(169) KAHN H. et WIENER A.-J., 1967, *L'an 2000. Un canevas de spéculations pour les 32 prochaines années*, traduction française, Robert Laffont, Paris, 519 p.

(170) KERGOMARD C., 2000, Pratiques des corrections atmosphériques en télédétection : utilisation du logiciel 5S, *Cybergéo*, n°181 web

(171) KERR S., LIU S., PFAFF A.S.P. and HUGHES R.F., 2003, Carbon dynamics and land use choices : building a regional scale multidisciplinary model, *Journal of Environmental Management*, vol. 69, pp. 25-37

(172) KERSEBAUM K.C., STEIDL J., BAUER O. and PIORR H.-P., 2003, Modelling scenarios to assess the effects of different agricultural management and land-use options to reduce diffuse nitrogen pollution into the river Elbe, *Physics and chemistry of the Earth*, vol. 28, pp. 537-545

(173) KIEKEN H., 2003, *Modélisation et prospective environnementale*, in *Prospectives pour l'environnement : Quelles recherches ? Quelles ressources ? Quelles méthodes ?*, Ed. Mermet L., La documentation française, pp. 51-67

(174) KOHONEN T., 1990, The self organizing map, *Proceedings IEEE*, vol. 78, n°9, pp. 1464-1480

(175) KOK K. and WINOGRAD M., 2002, Modelling land-use change for Central America, with special reference to the impact of hurricane Mitch, *Ecological Modelling*, vol. 149, pp. 53-69

(176) KURZ W.A., BEUKEMA S.J., KLENNER W., GREENOUGH J.A., ROBINSON D.C.E., SHARPE A.D. and WEBB T.M., 2000, TELSA : the Tool for Exploratory Landscape Scenario Analysis, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 27, pp. 227-242

L

(177) LACOUR C., 1986, *De l'aménagement du territoire au développement des territoires. Essai de théorisation sur une notion vague: le territoire.*, in *Région et aménagement du territoire*, Ed. BIERE, pp. 101-126

(178) LAJOIE G., 2005, *Modélisation et prospective territoriale : Jeux et enjeux de la modélisation du système spatial de l'île de La Réunion*, in *Modélisations en géographie : déterminismes et complexités*, Ed. Guermond Y., Hermès Science, Lavoisier, pp. 107-136

(179) LAMBIN E.F. and STRAHLER A.H., 1994, Change-vector analysis in multitemporal space : a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data, *Remote Sensing of Environment*, vol. 48, n°2, pp. 231-244

(180) LAMBIN E.F., 1996, Change detection at multiple temporal scales : seasonal and annual variations in landscape variables, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 62, n°8, pp. 931-938

(181) LAMBIN E.F., 1997, Modelling and monitoring land-cover change processes in tropical regions, *Progress in Physical Geography*, vol. 21, pp. 375-393

(182) LAMBIN E.F., BAULIES X., BOCKSTAEL N., FISCHER G., KRUG T. and et al., 1999, Land-use and land-cover change (LUCC): Implementation strategy, IGBP Rep. 48, IHDP Rep. 10, *Int. Geosph.-Biosph. Program., Int. Hum. Dimens. Glob. Environ. Change Program.*, Stockholm/Bonn, 125 p. web

(183) LAMBIN E.F., ROUNSEVELL M.D.A. and GEIST H.J., 2000, Are agricultural land-use models able to predict changes in land-use intensity ?, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 82, pp. 321-331

(184) LAMBIN E.F., TURNER B.L., GEIST H.J., AGBOLA S.B., ANGELSEN A., BRUCE J.W., COOMES O.T., DIRZO R., FISCHER G., FOLKE C., GEORGE P.S., HOMEWOOD K., IMBERNON J., LEEMANS R., LI X., MORAN E.F., MORTIMORE M., RAMAKRISHNAN P.S., RICHARDS J.F., SKANES H., STEFFEN W., STONE G.D., SVEDIN U., VELDKAMP A., VOGEL C. and XU J., 2001, The causes of land-use and land-cover change : moving beyonds the myths, *Global Environmental Change*, vol. 11, pp. 261-269

(185) LAMBIN E.F., GEIST H.J. and LEPERS E., 2003, Dynamics of land-use and land-cover changes in tropical regions, *Annual Review of Environment and Resources*, vol. 28, pp. 205-241

(186) LANGLOIS P. et PHIPPS M., 1997, *Automates cellulaires : application à la simulation urbaine*, Hermès, Paris, 208 p.

(187) LANGLOIS P. et DELAHAYE D., 2002, RuiCells, automate cellulaire pour la simulation du ruissellement de surface, *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 12, n°4, pp. 461-487

(188) LANGLOIS P., 2005-a, *Complexités et systèmes spatiaux*, in *Modélisations en géographie : déterminismes et complexités*, Ed. Y. G., Hermès Science, Lavoisier, pp. 299-320

(189) LANGLOIS P., 2005-b, *Les automates cellulaires pour la modélisation de systèmes spatiaux*, in *Modélisations en géographie : déterminismes et complexités*, Ed. Guermond Y., Hermès Science, Lavoisier, pp. 321-352

(190) LAYADI R., 2004, *La région stratège : le développement durable, un projet pour la Bretagne*, Coll. Espaces et Territoires, Presses Universitaires de Rennes, Rennes, 295 p.

(191) LE BER F. and BENOIT M., 1998, Modelling the spatial organisation of land use in a farming territory. Example of a village in the Plateau Lorrain. Agronomie: Agriculture and Environment, n° 18, pp. 101-113

(192) LE BER F. and NAPOLI A., 2002, The design of an object-based system for representing and classifying spatial structures and relations, *Journal of Universal Computer Science*, vol. 8, pp. 751-773

(193) LE LANNOU, 1952, *Géographie de la Bretagne, économie et population*, Plihon, Rennes, 464 p.

(194) LE PAGE R., 2002, Application des réseaux de neurones en imagerie et vision assistée par ordinateur, *Support de cours Mastère Image et Intelligence Artificielle - ENST Bretagne*, 138 p.

(195) LE RHUN P.-Y., ALLAIN R., BAUDELLE G., CANEVET C., CORLAY J.-P., LAURENT L., LEBAHY Y., PHLIPPONNEAU M. et REGNAULD H., 1994, *Géographie et aménagement de la Bretagne*, Skol Vreizh, Morlaix, 237 p.

(196) LEYNAUD G., 1992, Cohérence générale de la gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant, *Comptes rendus de l'Académie d'Agriculture*, vol. 78, n°6, pp. 79-90

(197) LI H. and REYNOLDS J.F., 1997, *Modelling effects of spatial pattern, drought and grazing on rates of rangeland degradation : a combined Markov and cellular automaton approach*, in *Scale in remote sensing and GIS*, Ed. Quattrochi D.A. and Goodchild M.F., pp. 211-230

(198) LIGNEAU L., 2002, Harmonie 4, Projet de cahier des charges, Etudes collectives globales à l'échelle d'un territoire, *Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne*

(199) LIM E.M. and HONJO T., 2003, Three-dimensional visualization forest of landscapes by VRML, *Landscape and urban planning*, vol. 63, pp. 175-186

(200) LIU S., REINERS W.A., KELLER M. and SCHIMEL D.S., 1999, Model simulation of changes in N2O and NO emissions with conversion of tropical rain forests to pastures in the Costa Rican Atlantic zone, *Global biogeochemical Cycles*, vol. 13, pp. 663-677

(201) LIU S., REINERS W.A., KELLER M. and SCHIMEL D.S., 2000, Simulation of nitrous oxide and nitric oxide emissions from tropical primary forests in the Costa Rican Atlantic zone, *Environmental Modelling and software*, vol. 15, pp. 727-743

(202) LIU S., LOVELAND T.R. and KURTZ R.M., 2003, Contemporary carbon dynamics in terrestrial ecosystem in the southeastern plains of the United States, *Environmental Management*, vol. 33, pp. 442-456

(203) LO C.P. and YANG X., 2002, Drivers of land-use / land-cover changes and dynamic modeling for the Atlanta, Georgia metropolitan area, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 68, n°10, pp. 1073-1082

(204) LOVELAND T.R., SOHL T.L., STEHMAN S.V., GALLANT A.L., SAYLER K.L. and NAPTON D.E., 2002, A strategy for estimating the rates of recent United States land-cover changes, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, vol. 68, n°10, pp. 1091-1099

(205) LOVELAND T.R., GALLANT A.L. and VOLGELMANN J.E., 2005, *Perspectives on the use of land-cover data for ecological investigations*, in *Issues and perspectives in landscape ecology*, Ed. John A.W. and Michael R.M., pp. 120-131

(206) LUDEKE A.K., MAGGIO R.C. and REID L.M., 1990, An analysis of anthropogenic deforestation using logistic regression and GIS, *Journal of Environmental Management*, vol. 31, pp. 247-259

M

(207) MAHE L.-P., DAUCE P., GOFFE P.-L., LEON Y., QUINQU M. et SURRY Y., 1998, Etude prospective sur l'agriculture bretonne, *INRA ESR, ENSAR*, Rennes, 124 p.

(208) MAHE L.-P., DAUCE P., GOFFE P.-L., LEON Y., QUINQU M. et SURRY Y., 2000, *L'avenir de l'agriculture bretonne : continuité ou changement ?* L.-P. Mahé (dir.), Ed. Apogées, Rennes, 149 p.

(209) MALTBY E., HOGAN D., IMMIRZI C.P. and J.H., 1994, *Building a new approach to the investigation and assessment of wetland ecosystem functioning*, in *Global Wetlands : Old world and new*, Ed. Mitsch W.J., Elsevier Science, pp. 637-658

(210) MARCHAND J.-P., sous presse, *Environnement et aménagement : pour une approche théorique de la complexité spatio-temporelle*, in *"L'émergence des cosmopolitiques"*, Ed. Soubeyran O. et Lolive J., La Découverte, 6 p.

(211) MARGUERIE D., ANTOINE A., THENAIL C., BAUDRY J., BERNARD V., BUREL F., CATTEDDU I., DAIRE M.-Y., GAUTIER M., GEBHARDT A., GUIDAL F., KERGREIS S., LANOS P., LE COEUR D., LE DU L., MEROT P., NAAS P., OUIN A., PICHOT D. et VISSET L., 2003, *Bocages armoricains et sociétés, genèse, évolution et interactions*, in *Des milieux et des hommes : fragments d'histoires croisées*, Elsevier, pp. 115-131

(212) MARTIN M. et BUREL F., 1998, Modéliser les mouvements des individus en milieu bocager : application au cas des carabes forestiers, *Colloque SMAGET "Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires",* 5-8 Octobre, Clermont-Ferrand, France, CEMAGREF Editions, pp. 71-82

(213) MASSE P., 1965, *Le plan ou l'anti-hasard*, Gallimard, Paris, 250 p.

(214) MATHIEU A., THINON P. et HAVET A., 2005, *Les enquêtes en exploitation agricole sur les usages du territoire*, in *Agricultures et Territoires*, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp. 93-113

(215) MAXWELL T. and COSTANZA R., 1997, An open geographic modeling environment, *Simulation*, vol. 68, pp. 175-185

(216) MEADOWS D. H., MEADOWS D. L., RANDERS J. et BEHRENS I. W. W., 1972, *Rapports sur les limites à la croissance*, in *Halte à la croissance ?*, Ed. Club de Rome, Collection "Ecologie", Fayard, 314 p.

(217) MENASSERI S., 2004, Enquêtes sur les conduites des cultures dans les exploitations agricoles du bassin versant de Naizin (Morbihan) en 2004, Rapport de synthèse + Enquêtes réalisées par les étudiants du DAA Ingénierie des Agrosystèmes et du DESS Productions végétales - Option Sciences Agronomiques, *Agrocampus Rennes*, 19 p. (+ Annexes)

(218) MERCIER G., HUBERT-MOY L., HOUET T. and GOUERY P., 2005, Estimation and Monitoring of Bare Soil/Vegetation Ratio With SPOT VEGETATION and HRVIR, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 43, n°2, pp. 348-354

(219) MEROT P., GASCUEL-ODOUX C., WALTER C., ZHANG X. and MOLENAT J., 1995, Bocage landscape and surface water pathways, *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 12, n°1, pp. 23-44

(220) MEROT P. et JIGOREL A. (eds), 1996, Hydrologie dans les pays celtiques, *Actes du 1er colloque interceltique d'hydrologie et de gestion des eaux,* 8-11 juillet, Rennes, France, Institut national de Recherches en Agronomie, 470 p.

(221) MEROT P., 1999, The influence of hedgerow systems on the hydrology of agricultural catchments in temperate climate, *Agronomie*, vol. 19, pp. 655-669

(222) MEROT P. *et al.*, 2000, Ty-Fon : Typologie Fonctionnelle des fonds de vallée en vue de la régulation de la pollution diffuse, Rapport de synthèse final, *Ed. PNRZH*, 115 p.

(223) MERTENS B. and LAMBIN E.F., 1997, Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon, *Applied Geography*, vol. 17, n°2, pp. 143-162

(224) MESAROVIC M. et PESTEL C., 1974, *Stratégie pour demain, traduc. française*, Deuxième rapport du Club de Rome, Le Seuil, 207 p.

(225) MESSINA J.P. and WALSH S.J., 2001, Modeling land use and land cover dynamics in the Ecuadorian Amazon, *Plant Ecology*, vol. 156, pp. 75-88

(226) MICHELIN Y., 2000, Le bloc-diagramme: une clé de compréhension des représentations du paysage chez les agriculteurs? Mise au point d'une méthode d'enquête préalable à une gestion concertée du paysage en Artense (massif central français), *Cybergéo*, n°118, 11 p. web

(227) Mid-Atlantic Regional Earth Science Applications Center, 2003, Modeling future growth in the Washington, DC-Baltimore Region 1986-2000 web

(228) MIGNOLET C., 2005, *Diversité régionale des exploitations agricoles et de leurs dynamiques : méthodes de spatialisation*, in *Agricultures et Territoires*, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp. 115-133

(229) MOODY A., GOPAL S. and STHRALER A.H., 1996, Artificial neural network response to mixed pixels in coarse resolution satellite data, *Remote Sensing of Environment*, vol. 58, n°3, pp. 329-343

(230) MOORE D.G., TAPPAN G., HOWARD M.S., LIETZOW R.W., NADEAU C.A., RENISON W., OLSSON J. and KITE R., 1992, Geographic modeling of human carrying capacity from rainfed agriculture: Senegal case study, Technical report, *US Agency for International Development*, Washington, 51 p.

(231) MORIN E., 1990, *Introduction à la pensée complexe*, E.S.F éditeur, 158 p.

(232) MORLON P., 2005, *La dimension spatiale des pratiques agricoles: une approche agronomique*, in *Agricultures et Territoires*, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp 175-190

(233) MOUTON E., 1872, *La fin du monde*, in *Nouvelles et Fantaisies Humoristiques*, Paris, Librairie Générale, pp. 47-57 web

(234) MUCHONEY D., 2002, Geographic Analysis and Monitoring Program - 5-year program plan, *United States Geological Survey*, 35 p. pdf

(235) MÜNIER B., BIRR-PEDERSEN K. and SCHOU J.S., 2004, Combined ecological and economic modelling in agricultural land use scenarios, *Ecological Modelling*, vol. 174, pp. 5-18

N

(236) NAPTON D.E., 2005, Land changes and their driving forces in the Southeastern United States, Internal report, *USGS EROS Data Center - Land-cover trends Project*, 50 p.

(237) NARCY J.-B., 2004, *Pour une gestion spatiale de l'eau : Comment sortir du tuyau ?*, Ecopolis n°4, P.I.E.-Peter Lang, Bruxelles, Belgique, 342 p.

(238) NARCY J.-B., POUX X. et HOUET T., 2006, *Méthode et apports d'une intervention prospective dans une problématique de gestion des eaux: le cas du Blavet*, in *Qualité de l'eau en milieu rural : savoirs et pratiques dans les bassins versants*, Ed. P. Mérot, Editions Cemagref, Cirad, Ifremer, Inra, pp. 287-296

(239) NASSAUER J.I. and CORRY R.C., 2004, Using normative scenarios in landscape ecology, *Landscape ecology*, vol. 19, pp. 343-356

(240) NEDELEC V., 2005, *Modélisation de la colonisation agricole et de la déforestation dans le nord du Mato Grosso : approche multi-scalaire par télédétection*, Thèse de doctorat, Université de Rennes 2 - Haute Bretagne, 294 p.

O

(241) O'CALLAGHAN J.R., 1996, *Land use - the interaction of economics, ecology and hydrology*, Chapman & Hall, London, 200 p.

(242) OLIVE G., 2002, Prospective et changement climatique: six scénarios pour l'agriculture du bassin de la Seine à l'horizon 2050, Rapport de DEA, *Institut National Agronomique Paris-Grignon, Spécialisation "Economie de l'environnement et des ressources naturelles"*, 114 p.

(243) ONIC, 1955, Recensement Général Agricole, Données Statistiques, Cd-rom

(244) ONIC, 1970, Recensement Général Agricole, Données Statistiques, Cd-rom

(245) ONIC, 1979, Recensement Général Agricole, Données Statistiques, Cd-rom

(246) ONIC, 1988, Recensement Général Agricole, Données Statistiques, Cd-rom

(247) ONIC, 2000, Recensement Général Agricole, Données Statistiques, Cd-rom

(248) ONU, 1987, *Our common future*, Oxford University Press, 383 p.

P

(249) PAEGELOW M., 2004, *Géomatique et géographie de l'environnement : de l'analyse spatiale à la modélisation prospective*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Toulouse Le Mirail, 211 p. (vol. 1) pdf + 20 p. (vol. 2) pdf

(250) PAEGELOW M., VILLA N. et CORNEZ L., 2004, Modélisations prospectives de l'occupation du sol. Le cas d'une montagne méditerranéenne, *Cybergéo*, n°295, pp. 1-19 pdf

(251) PAEGELOW M. and CAMACHO OLMEDO M.T., 2005, Possibilities and limits of prospective GIS land cover modelling - a compared case study : Garrotxes (France) and Alta Alpujarra (Spain), *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 19, n°6, pp. 697-722 pdf

(252) PAPY F., 1999, Agriculture et organisation du territoire par les exploitations agricoles : enjeux, concepts et questions de recherche, *C. R. Acad. Agric. Fr.*, vol. 85, n°7, pp. 233-244

(253) PEGUY C.-P., 2001, *Espace, Temps, Complexité. Vers une méta-géographie.*, Belin, 283 p.

(254) PERRAUD D., 2005, *Le soutien de l'agriculture : politiques agricoles et territoires*, in *Agricultures et Territoires*, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp. 283-298

(255) PETIT C., SCUDDER T. and LAMBIN E.F., 2001, Quantifying processes of land-cover change by remote sensing : resettlement and rapid land-cover changes in south-eastern Zambia, *International journal of Remote Sensing*, vol. 22, n°17, pp. 3455-3456

(256) PETIT C. and LAMBIN E.F., 2002, Long-term land-cover changes in the Belgian Ardennes (1775-1929) : model-based reconstruction vs. historical maps, *Global Change biology*, vol. 8, pp. 616-630

(257) PINAY G. et TROCCAZ O., 1999, Influence de la structure du paysage et des zones humides de bas-fond sur les flux d'azote en bassin versant agricole, Rapport final Bretagne Eau Pure 2, *UMR ECOBIO Université de Rennes 1*

(258) PIVETEAU V., 1995, *Prospective et territoires: apports d'une réflexion sur le jeu*, Collection *Etudes*, Série *Gestion des territoires*, Cemagref Editions, Antony, 298 p.

(259) POIX C. et MICHELIN Y., 1998, Utilisation d'un modèle multi-agents dans un système de simulation d'évolutions paysagères, *Colloque SMAGET "Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires",* 5-8 Octobre, Clermont-Ferrand, France, CEMAGREF Editions, pp. 187-192

(260) POIX C. et MICHELIN Y., 2000, Simulation paysagère : un modèle multi-agents pour prendre en compte les relations sociales, *Cybergéo*, n°116, pp. 1-10 web

(261) POUX X., MERMET L., BOUNI C., NARCY J.-B. et DUBIEN I., 2001, Méthodologie de prospective des zones humides à l'échelle micro-régionale - problématique de mise en oeuvre et d'agrégation des résultats, Rapport scientifique au PNRZH, *AScA*, 111 p. + annexes

(262) POUX X., 2003, *Les méthodes des scénarios*, in *Prospectives pour l'environnement : Quelles recherches ? Quelles ressources ? Quelles méthodes ?*, Ed. Mermet L., La documentation française, pp. 33-50

R

(263) RASKIN P., GALLOPIN G.C., GUTMAN P., HAMMOND A. and SWART R., 1998, Bending the curve : Toward global sustainability, Pole Star Series Report No. 8, *Stockholm Environment Institute*, Stockholm, Sweden, 144 p. pdf

(264) REEVES D.W., 1997, The role of soil organic matter in maintaining soil quality in continuous cropping systems, *Soil Tillage Resource*, vol. 43, pp. 131-167

(265) REICOSKY D.C. and FORCELLA F., 1998, Cover crops and soil quality interactions in agroecosystems, *Journal of Soil and Water Conservation*, vol. 53, n°3, pp. 224-229

(266) REMY J., 2005, *Les enjeux fonciers du métier d'agriculteur*, in *Agricultures et Territoires*, Ed. Laurent C. et Thinon P., Hermès Science, Lavoisier, pp. 283-298

(267) ROBIDA A., 1892, *La vie au XXème siècle la vie électrique*, Librairie Illustrée

(268) ROBIN, 1973, *Le remembrement rural dans le Morbihan et ses conséquences*, Mémoire, Université de Rennes 2, 135 p.

(269) ROTHROCK C.S. and KENDIG S.R., 1991, *Suppression of black root on cotton by winter legume cover crops*, in *Cover crops for clean water*, Ed. Hargrove W.L., Soil and Water Conservation Society, pp. 155-156

(270) ROUNSEVELL M.D.A., EWERT F., REGINSTER I., LEEMANS R. and CARTER T.R., 2005, Future scenarios of European agricultural land use: II. Projecting changes in cropland and grassland, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 107, pp. 117-135

(271) RUIZ L., AUROUSSEAU P., BAUDRY J., BEAUJOUAN V., CELLIER P., CURMI P., DURAND P., GASCUEL-ODOUX C., LETERME P., PEYRAUD J.-L., THENAIL C. et WALTER C., 2004, *Conception de bassins versants virtuels : vers un outil pour l'étude de l'influence de l'organisation spatiale de l'activité agricole et du milieu physique sur les flux d'azote dans les bassins versants*, in *Organisation spatiale des activités agricoles et processus environnementaux*, Ed. Monestier P., Lardon S. and Seguin B., INRA Editions, 356 p.

S

(272) SAGE Blavet, 2003-a, Etat des lieux sur le bassin versant du Blavet : Rapport Agriculture, Rapport d'étude, *Institution Interdépartementale du SAGE Blavet*, 50 p.

(273) SAGE Blavet, 2003-b, Etat des lieux sur le bassin versant du Blavet : Rapport Diagnostic, Rapport d'étude, *Institution Interdépartementale du SAGE Blavet*, 70 p.

(274) SANDERS L., PUMAIN D., MATHIAN H., GUERIN-PACE F. and BURA S., 1997, SIMPOP : a multiagent system for the study of urbanism, *Environment Planning B*, vol. 24, pp. 287-305

(275) SCHWARTZ P., 1991, *The art of the long view*, Doubleday-Luneley, 258 p.

(276) SEBILLOTTE M., HOFLACK P., LECLERC L. A. et SEBILLOTTE C., 2003, *Prospective : L'eau et les milieux aquatiques. Enjeux de sociétés et défis pour la recherche,* coll. Bilan et Prospectives, INRA-CEMAGREF, Paris. 350 p.

(277) SHERIDAN J.M., 2002, Peak flows estimates for Coastal Plain Watersheds, *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, vol. 45, n°5, pp. 1319-1326

(278) SKLAR F.H. and COSTANZA R., 1991, *The development of dynamic spatial models for landscape ecology : a review and prognosis*, in *Quantitative methods in landscape ecology*, Ed. Turner M.G. and Gardner R.H., Springer-Verlag, pp. 239-288

(279) Skol Uhel Ar Vro, Skol Vreizh and INSEE, 1990, *Atlas de Bretagne*, Skol Vreizh, 64 p.

(280) SOUVESTRE E., 1846, *Le monde tel qu'il sera*, W. Coquebert, Paris, 324 p.

(281) STEFFEN W., SANDERSON A., TYSON P.D., JAGE J., MATSON P.A., MOORE III G., OLDFIELD F., RICHARDSON K., SCHELLNHUBER H.J. and WASSON R.J., 2004, *Global change and the Earth system : a planet under pressure, Global Change*, The IGBP series, GR, Springer-Verlag, Berlin, Vol. XII, 336 p.

(282) STEHMAN S.V., SOHL T.L. and LOVELAND T.R., 2003, Statistical sampling to characterize recent United States land-cover change, *Remote Sensing of Environment*, vol. 86, pp. 517-529

(283) STEINITZ C. *et al.*, 1999, Alternative Futures for the Gartenreich Dessau-Worlitz Germany, Research report, *Graduate School of Design, Harvard University* web

(284) STEINITZ C., ROJO H.M.A., BASSET S., FLAXMAN M., GOODE T., MADDOCK T., MOUAT D., PEISER R. and SHEARER, 2003, *Alternative Futures for Changing Landscapes : The Upper San Pedro River Basin in Arizona and Sonora*, Island Press, Washington, D.C., 200 p.

T

(285) TATEM A., LEWIS H., ATKINSON P.M. and NIXON M., 2001-a, Super-resolution mapping of urban scenes from IKONOS imagery using a Hopfield network, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 39, n°7, pp. 3203-3205

(286) TATEM A., LEWIS H., ATKINSON P.M. and NIXON M., 2001-b, Super-resolution target identification from remotely sensed images using a Hopfield neural network, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 39, n°4, pp. 781-796

(287) THENAIL C., 1996, *Exploitations agricoles et territoires : contribution à la structuration de la mosaïque paysagère*, Université de Rennes 1, 396 p.

(288) THENAIL C., 1997, Le rôle des exploitations agricoles dans l'évolution des paysages : un facteur essentiel des dynamiques écologiques, *Ecologia Mediterranea*, vol. 23, pp. 71-90

(289) THENAIL C. et BAUDRY J., 2001, Modélisation des systèmes techniques agricoles contribuant aux dynamiques des structures paysagères : de la parcelle à l'exploitation agricole et au paysage, *Etude des changements d'utilisation et d'occupation du sol : échelles et modèles - Séminaire de l'UMR 6554 CNRS,* Rennes, pp. 16-24 web

(290) THENAIL C. and BAUDRY J., 2005, Farm riparian land use and management : Driving factors and tensions between technical and ecological functions, *Environmental Management*, Vol. 36, n°4, pp. 1-15

(291) TORRENS P.M. and O'SULLIVAN D., 2001, Cellular automata and urban simulation: where do we go from where ?, *Environment Planning B*, 28, pp. 163-168

(292) TORRENS P.M., 2002, *Cellular automata and multi-agent systems as planning support tools*, in *Planning support systems in practice*, Ed. S. Geertamn and J. Stillwell, Springer-Verlag, pp. 205-222

(293) TORTRAT F., 2005, *Modélisation orientée décision des processus de transfert par ruissellement et subsurface des herbicides dans les bassins versants agricoles*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, 219 p.

(294) TREHEN P., 2002, Un point sur le problème majeur de la qualité de l'eau en Bretagne et sur quelques questions environnementales en émergence, *Exposé devant la commission "Aménagement du territoire - Environnement" du Conseil économique et social régional de Bretagne*, 12 mars 2002, *in* Le défi de la qualité de l'eau en Bretagne, *Conseil Economique et Social Régional de Bretagne*, pp 395-416.

(295) TURNER B.L., SKOLE D., SANDERSON S., FISCHER G., FRESCO L.O. and LEEMANS R., 1995, LUCC Science Research Plan, IGBP Rep. 35, HDP Rep. 7, *Int. Geosph.-Biosph. Program., Int. Hum. Dimens. Glob. Environ. Change Program*, Stockholm/Geneva web

U

(296) UNEP, 2005, *One planet, Many people - Atlas of our changing environment*, Division of Earth Warning and Management, United Nation Environment Programme, UNEP/Earthprint,, Nairobi, Kenya, 330 p.

(297) US department of State, 1980, The global 2000 report to the president, entering the 21th century, Washington

V

(298) VAN ASSELT M.B.A., STORMS C.A.M.H., RIJKENS-KLOMP N. and ROTMANS J., 1998, *Towards visions for a sustainable Europe, an overview and assessment of the last decade in European scenarios studies ICIS*, University of Maastricht, The Netherlands

(299) VAN DER HELM R., 2002, Comment faut-il apprécier la prospective ? Vers une évaluation *ex post* de la Vision Mondiale de l'eau, Rapport de DEA, *ENGREF*, 96 p.

(300) VAN MIEGROET H. and JOHNSON D.W., 1993, *Nitrate dynamics in forest soils*, in Ed. Burt T.P., Heatwaite A.L. and Trudgill S.T., pp. 75-97

(301) VARELA F., 1989, *Connaître. Les sciences cognitives, tendances et perspectives*, Seuil, Paris, 125 p.

(302) VELDKAMP A. and FRESCO L.O., 1996-a, CLUE : a conceptual model to study the Conversion of Land Use and its Effects, *Ecological Modelling*, vol. 85, pp. 253-270

(303) VELDKAMP A. and FRESCO L.O., 1996-b, CLUE-CR: an integrated multi-scale model to simulate land use change scenarios in Costa Rica, *Ecological Modelling*, vol. 91, pp. 231-248

(304) VELDKAMP A. and FRESCO L.O., 1997, Exploring land-use scenarios, an alternative approach based on actual land-use, *Agricultural Systems*, vol. 55, n°1, pp. 1-17

(305) VELDKAMP A. and LAMBIN E.F., 2001, Predicting Land-use change, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 85, n°1-3, pp.1-6

(306) VELDKAMP A., VERBURG P.H., KOK K., de KONING G.H.J., PRIESS J. and A.R., 2001, The need for scale sensitive approaches in spatially explicit land use change modeling, *Environmental Modelling and Assessment*, vol. 6, pp. 111-121

(307) VERBURG P.H., de KONING G.H.J., KOK K., VELDKAMP A. and J., 1999, A spatial explicit allocation procedure for modelling the pattern of land use change based upon actual land use, *Ecological Modelling*, vol. 116, pp. 45-61

(308) VERBURG P.H., CHEN Y.Q. and VELDKAMP A., 2000, Spatial explorations of land use change and grain production in China, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 82, pp. 333-354

(309) VERBURG P.H., VELDKAMP A., SOEPBOER W., LIMPIADA R., ESPALDON V. and MASTURA S.S.A., 2002, Modeling the spatial dynamics of regional land use: the CLUE-S model, *Environmental Management*, vol. 30, n° 3, pp. 391-405

(310) VERBURG P.H., SCHOT P., DIJST M. and VELDKAMP A., 2004, Land use change modelling : current practice and research priorities, *Geojournal*, vol. 61, n°4, pp. 309-324

(311) VERBURG P.H. and VELDKAMP A., 2004, Projecting land use transitions at forest fringes in the Philippines at two spatial scales, *Landscape ecology*, vol. 19, pp. 77-98

(312) VIAUD V., 2004, *Organisation spatiale des paysages bocagers et flux d'eau et de nutriments*, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes, 281 p. pdf

(313) VOINOV A., COSTANZA R., WAINGER L., BOUMANS R., VILLA F., MAXWELL T. and VOINOV H., 1999, Patuxent landscape model : integrated landscape ecological economic modelling of a watershed, *Environmental Modelling and Software*, vol. 14, pp. 473-491

(314) VON NEUMANN J., 1966, *Theory of self reproducing automata*, Urbana, University of Illinois Press

W

(315) WALTER C., MEROT P., LAYER B. and DUTIN G., 2003, The effect of hedgerows on soil organic carbon storage in hillslope, *Soil Use and Management*, vol. 19, pp. 201-207

(316) WANG Y. and ZANG X., 2001, A dynamic modeling approach to simulating socioeconomic effects on landscape changes, *Ecological Modelling*, vol. 140, pp. 141-162

(317) WARD B. et DUBOS R., 1964, *Nous n'avons qu'une Terre*, J'ai lu, N° D38, 435 p.

(318) WHITE R. and ENGELEN G., 1993, Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns, *Environment Planning A*, vol. 25, pp. 1175-1199

(319) WILHELM T. and BRUGGEMAN R., 2000, Goal functions for the development of natural systems, *Ecological Modelling*, vol. 132, pp. 231-246

(320) WOLFRAM S., 1983, Statistical Mechanics of Cellular Automata, *Review of modern physics*, vol. 55, pp. 601-644

(321) WOLFRAM S., 1986, *Theory and applications of cellular automata*, World Scientific, Singapore, 560 p.

(322) WU J. and HOBBS R., 2002, Key issues and research priorities in landscape ecology : an idiosyncratic synthesis, *Landscape ecology*, vol. 17, pp. 355-365

Y

(323) YOUNG A., 1931, *Voyages en France en 1787, 1788, 1789*, Première traduction complète et critique par Henri Sée, A. Colin, Paris, Tome Premier : Journal de voyage, 1283 p.

(324) YOUNG P., 1998, Data-based mechanistic modelling of environmental, ecological, economic and engineering systems, *Environmental Modelling and software*, vol. 13, pp. 105-122

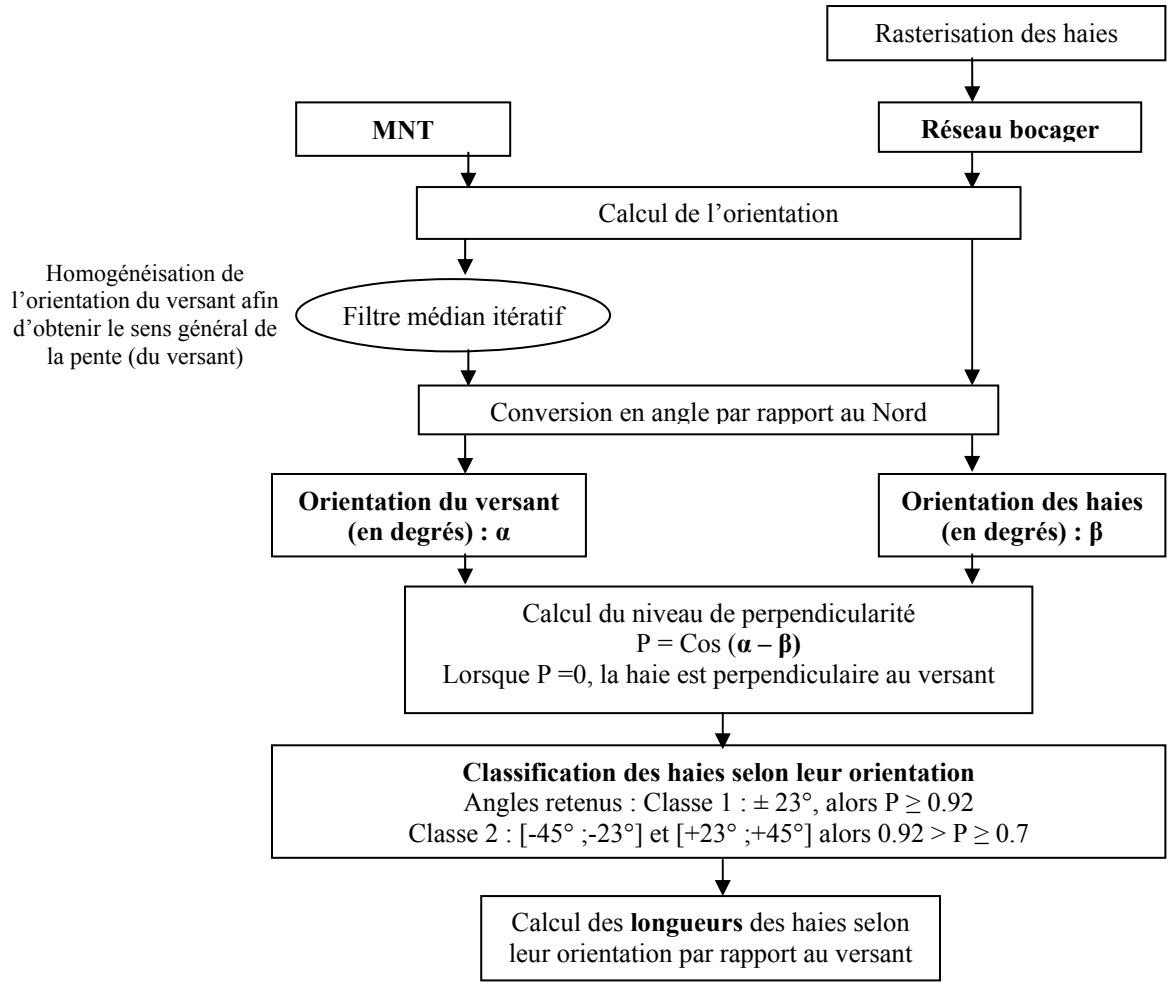
Z

(325) ZUNGA Q., VAGNINI A., LEPAGE C., TOURE I., LIEURAIN E. et BOUSQUET F., 1998, Coupler SIG et Systèmes Muli-Agents pour modéliser les dynamiques de transformation des paysages, *Colloque SMAGET "Modèles et systèmes multi-agents pour la gestion de l'environnement et des territoires",* 5-8 Octobre, Clermont-Ferrand, France, CEMAGREF Editions, pp. 193-206

ANNEXES

ANNEXE 1. METHODE DE DETERMINATION DES HAIES ENTRAVANT LES TRANSFERTS DE FLUX DE SURFACE ..... - 342 -
ANNEXE 2. METHODE DE CALCUL DE LA COMPACITE ET DE LA FRAGMENTATION DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES .. .. - 342 -
ANNEXE 3. PARAMETRES DES CORRECTIONS GEOMETRIQUES DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES ..... - 343 -
ANNEXE 4. DEMARCHE DE PRE-TRAITEMENT DES PHOTOGRAPHIES AERIENNES ..... - 344 -
ANNEXE 5. DEMARCHE DE PRODUCTION DES COUCHES D'INFORMATIONS GEOGRAPHIQUES (HAIES – PARCELLES – ZONE HUMIDES). EXEMPLE PRIS SUR LE BASSIN VERSANT DU COËT-DAN ..... - 345 -
ANNEXE 6. PARAMETRES DES CORRECTIONS GEOMETRIQUES ET RADIOMETRIQUES DES DONNEES SATELLITAIRES ..... - 346 -
ANNEXE 7. PROCEDURES DE TRAITEMENT DES IMAGES SATELLITAIRES POUR LA DETECTION DE LA COUVERTURE HIVERNALE DES SOLS (GAUCHE) ET L'IDENTIFICATION DES CULTURES ANNUELLES (DROITE) - D'APRES CORGNE (2004)..... - 347 -
ANNEXE 8. LISTE DES PERSONNES INVITEES LORS DE LA REUNION PARTICIPATIVE DU 14/10/2003 ET DESTINEE A LA DETERMINATION DES FACTEURS DE CHANGEMENTS DES STRUCTURES PAYSAGERES ET DES MODES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS ..... - 347 -
ANNEXE 9. LES RECITS D'EVOLUTION DES SITES D'ETUDES..... - 348 -
ANNEXE 10. METHODOLOGIE POUR DETERMINER LE NIVEAU D'ACCESSIBILITE TOPOGRAPHIQUE DES ZONES HUMIDES..... - 351 -
ANNEXE 11. LISTE DES PERSONNES INVITEES LORS DE LA REUNION PARTICIPATIVE DU 7/02/2005 DESTINEE A LA DETERMINATION DES HYPOTHESES DE CONSTRUCTION DES SCENARIOS PROSPECTIFS ..... - 351 -
ANNEXE 12. LISTE DES PERSONNES INVITEES LORS DE LA REUNION PARTICIPATIVE DU 6/02/2006 DESTINEE A LA RESTITUTION ET A L'EVALUATION DES SCENARIOS PROSPECTIFS ..... - 351 -
ANNEXE 13. QUESTIONNAIRE D'EVALUATION DES SCENARIOS PROSPECTIFS ..... - 352 -

Annexe 1. Méthode de détermination des haies entravant les transferts de flux de surface



Annexe 2. Méthode de calcul de la compacité et de la fragmentation des zones humides de fonds de vallées

Dans le cadre de cette étude, les limites de la zone humide effective sont cartographiées sur les 3 bassins versants pour la période 1952-1999, ce qui permet d'approcher la limite de la zone humide potentielle. En ce qui concerne la zone humide efficace pour la fonction dénitrification, celle-ci est large de quelques mètres et est localisée juste après le talus de ceinture séparant la ripisylve et le bassin versant agricole. La longueur de contact entre la zone humide de fond de vallée et le versant est donc déterminante pour cette fonction. Ce descripteur de la zone humide est donc retenu pour l'étude. Ce descripteur, associé à la surface de la zone humide permet, à travers un indice de compacité, d'évaluer son rôle potentiel en terme de frein à l'écoulement de surface. Il permet de calculer pour chacun des compartiments de la zone humide, leur compacité d'après la formule suivante :

$$C = (Ap / Ac)^{0.5}$$

Où *C* est l'indice de compacité d'un compartiment

Ap correspond à l'aire du compartiment considéré

Ac correspond à l'aire du cercle possédant le même périmètre que ce compartiment

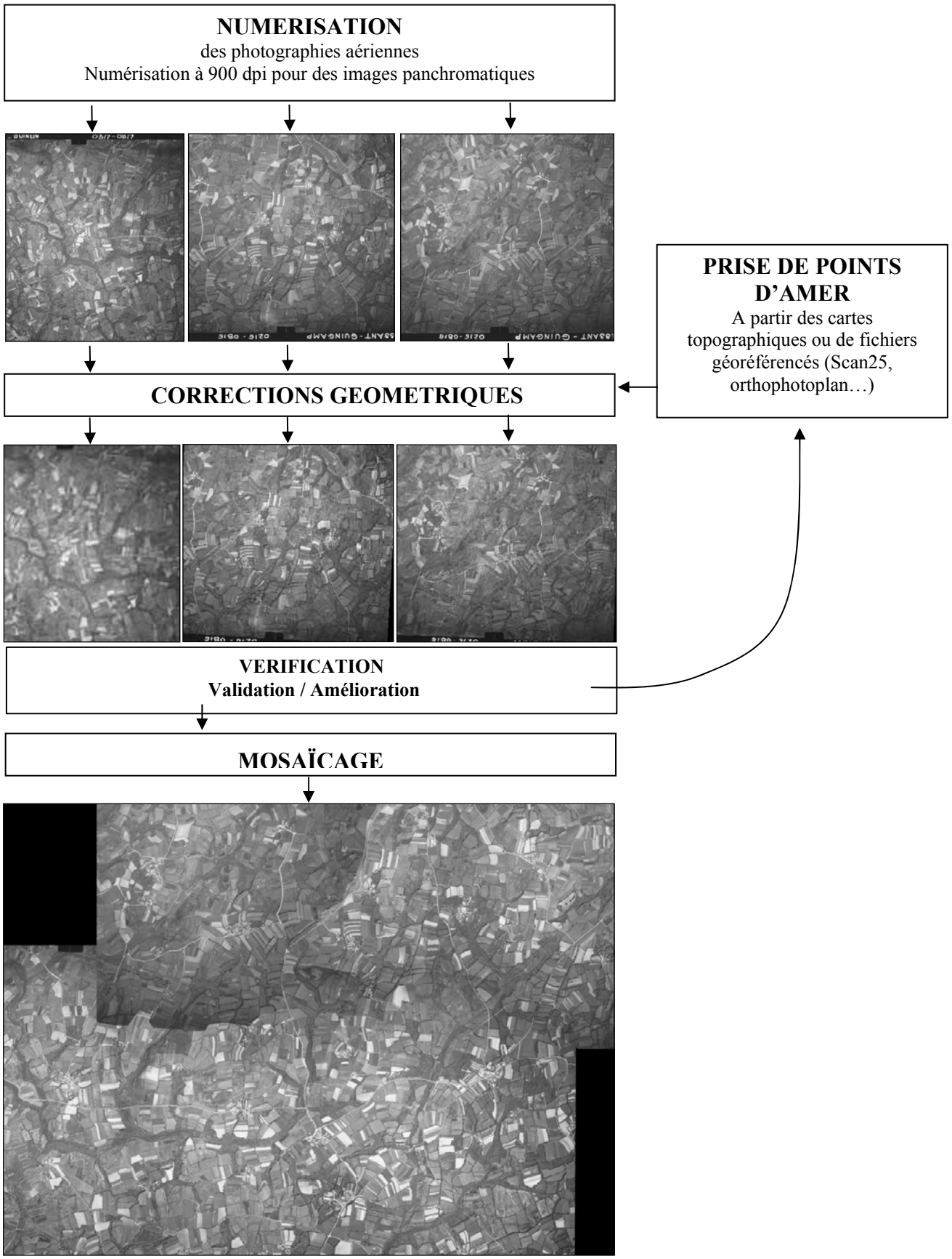
La moyenne et l'écart type sont ensuite calculés.

Le niveau de connexion entre les différents compartiments de la zone humide influe sur son efficacité à réguler les flux. Le niveau de fragmentation de ces zones est obtenu par le calcul du nombre de compartiments présents au sein de la zone humide et de la taille moyenne de l'ensemble de ces compartiments.

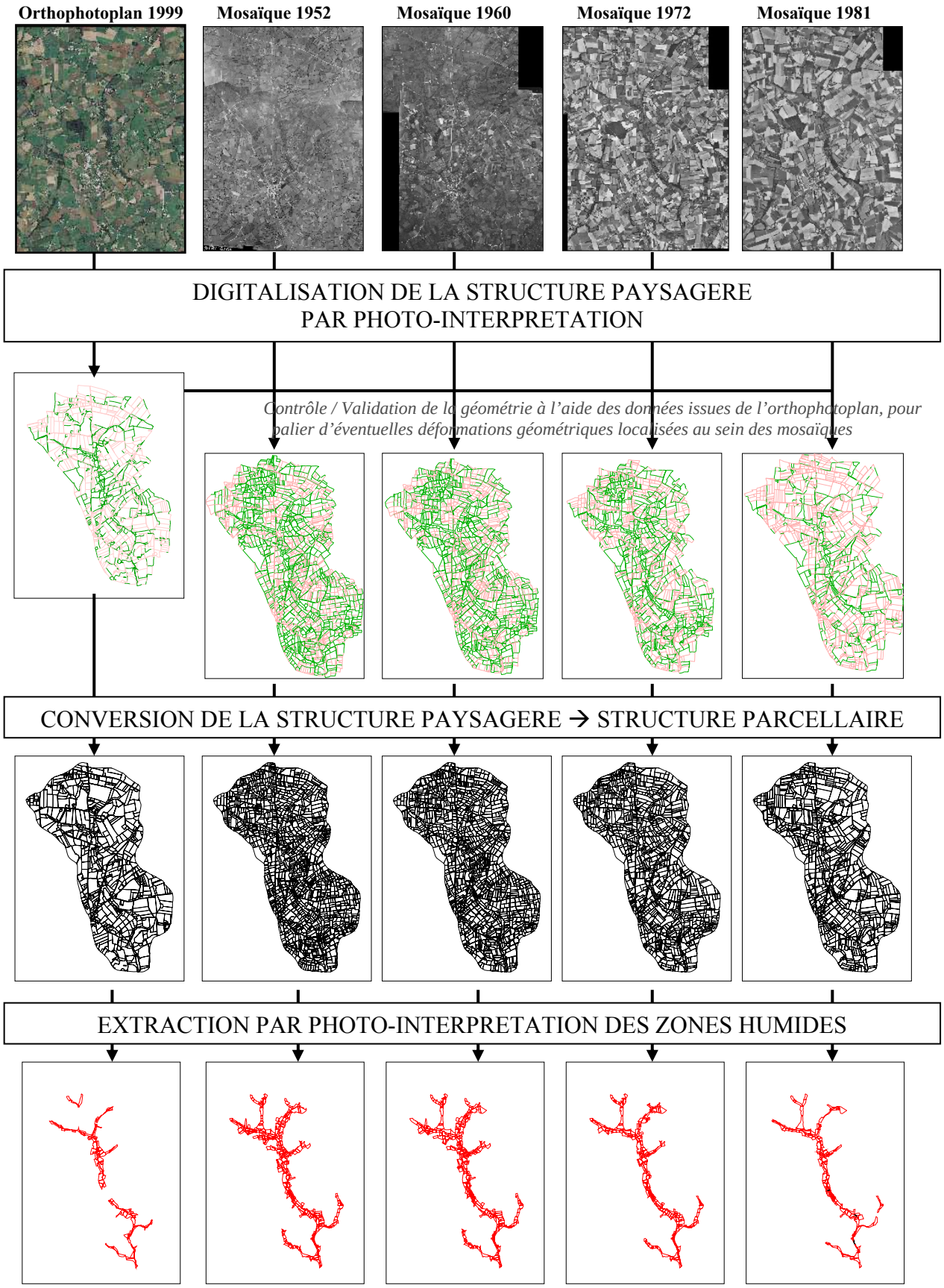
Annexe 3. Paramètres des corrections géométriques des photographies aériennes

Site et année d'étude	Date d'acquisition des photographies	N° du cliché	RMS error	Nombre de points de contrôle
LESTOLET - 1952	??/05/1952	14	5.84	23
		15	8.57	31
		16	10.74	30
	23/05/1952	75	10.53	34
		76	7.05	41
		77	6.07	35
LESTOLET – 1966	16/05/1966	151	10.37	37
		153	8.63	42
	18/08/1966	295	10.59	39
		297	37	37
LESTOLET – 1981	18/08/1981	164	7.04	70
		165	5.86	61
COËT-DAN - 1952	21/05/1952	003	5.03	17
		111	6.90	29
		112	6.66	28
COËT-DAN – 1960	22/03/1960	048	5.79	37
		049	6.69	41
		135	10.46	66
COËT-DAN – 1972	14/07/1972	31	4.14	24
		40	5.94	59
		41	5.77	63
COËT-DAN – 1981	17/08/1981	145	8.08	82
		174	6.57	36
STANG VARRIC - 1952	?4/06/1952	170	4.79	31
		171	6.40	29
		264	7.71	18
		265	6.46	21
STANG VARRIC - 1958	22/04/1958	211	7.59	38
		212	5.25	28
		269	4.20	45
		270	8.08	51
STANG VARRIC – 1976	16/06/1976	32	5.68	60
		33	8.47	54
	23/06/1976	75	5.12	42
STANG VARRIC - 1981	17/08/1981	32	7.65	51
		33	5.72	48
		93	5.06	38

Annexe 4. Démarche de pré-traitement des photographies aériennes



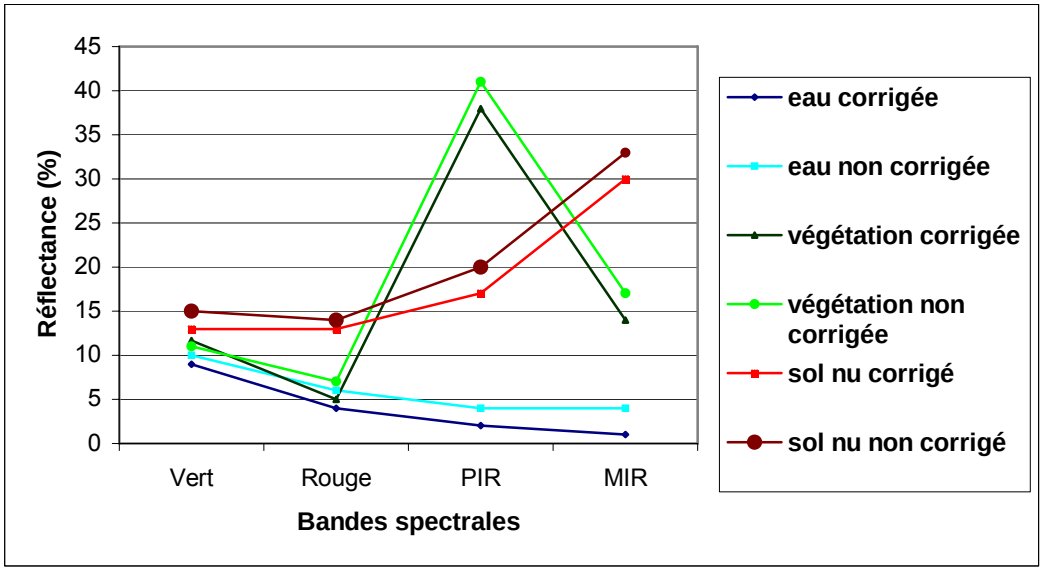
Annexe 5. Démarche de production des couches d'informations géographiques (Haies – Parcelles – Zone humides). Exemple pris sur le bassin versant du Coët-Dan



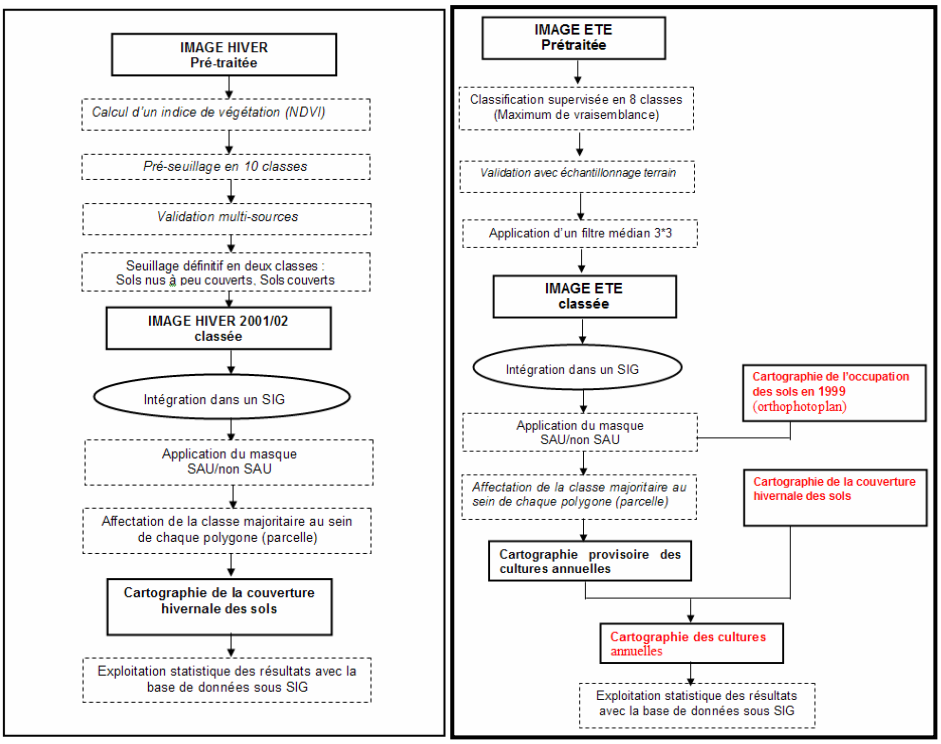
Annexe 6. Paramètres des corrections géométriques et radiométriques des données satellitaires

Date d'acquisition des images	RMS error	Nombre de points de contrôle
29-12-1996	0.50	22
13-12-1997	0.97	22
16-03-1999	0.39	16
08-03-2000	0.66	16
24-01-2001	0.18	16
17-12-2001	0.36	16
15-08-1997	0.52	16
13-09-2002	0.34	16
04-12-1996	0.68	16
05-12-1997	0.32	16
15-01-2000	0.52	24
08-01-2001	0.52	24
17-12-2001	0.60	24
24-08-2001	0.42	15
13-08-2002	0.32	15

Courbes de signatures spectrales extraites de l'image SPOT du 24-01-2001 avant et après rectification radiométrique (Bassin versant du Lestolet)



Annexe 7. Procédures de traitement des images satellitaires pour la détection de la couverture hivernale des sols (gauche) et l'identification des cultures annuelles (droite) - d'après Corgne (2004)



Annexe 8. Liste des personnes invitées lors de la réunion participative du 14/10/2003 et destinée à la détermination des facteurs de changements des structures paysagères et des modes d'occupation et d'utilisation des sols

Présents :

Laurence HUBERT-MOY, COSTEL UMR CNRS 6554, Enseignant-Chercheur, Université Rennes 2
Thomas HOUET, COSTEL, Doctorant, Université Rennes 2
Xavier POUX - AScA – Chercheur Associé RGTE-CIRED ENGREF
Corentin CANEVET, RESO UMR CNRS 6590, Enseignant-Chercheur, Université Rennes 2
Annie LE LURON, Institution SAGE Blavet
Yvon SIOU, Agence de l'Eau Loire-Bretagne
Yvon BERHAULT, DDAF 22 Service Environnement
Yvon BOUTIER, Agriculteur – Président Commission Professionnelle Agricole
Isabelle TREHOREL, Syndicat Mixte de Kerné Uhel
Annie CHARTER, Chambre Agriculture 22 Rostrenen
Gabriel BEDUNEAU, ADASEA 22
Frédéric POULLAIN, Conseil Général 22 DAE
Noël SIOHAN, DDAF 56 Service Aménagement Foncier
Jean-Jacques LABAT, Conseil Général 56 DAE
Marcel Pierre LE ROUZIC, Agriculteur
Pierre LE METOUR, Chambre Agriculture 56
Mr JEGOREL, 1er adjoint Commune de Naizin

Excusés :

DDAF 22 Service Aménagement Foncier
Monique LE CLEZIO, Conseillère générale de Mûr de Bretagne
DDAF 56 Service Environnement
Jean-Paul BERTHO, Maire de Baud
Olivier JEGOU, Directeur ADASEA 56
Yves LEON, INRA
Jacques BAUDRY, INRA SAD-Armorique
Jean-Pierre BAGEOT, Président Commission Locale de l'Eau SAGE Blavet

Annexe 9. Les récits d'évolution des sites d'études

Pour les trois bassins versants, quatre grandes périodes d'évolution des structures paysagères et des modes d'occupation et d'utilisation des sols ont été identifiées :

- 1945 à 1968/70 : d'un système semi-autarcique aux débuts de l'intensification agricole (Equipements, aménagements, eau, électricité)
- 1968/70 à 1983/84 : la prospérité agricole avant les quotas laitiers (Développement sans limites, restructuration foncière)
- 1984 à 1992 : des quotas laitiers à la PAC de 1992 (Développement spectaculaire des systèmes de production hors sol)
- 1992 à nos jours : l'adaptation de l'agriculture à la PAC de 1992 et l'émergence de préoccupations environnementales.

Rétrospective de l'évolution du Lestolet

La période 1945-1968/70

En 1952, l'agriculture était destinée à subvenir prioritairement aux besoins des populations locales : un système semi autarcique dominait. Les cultures principales étaient l'avoine, le sarrasin, le seigle ainsi que les légumes (pommes de terre,…). Les chevaux, en grand nombre, constituaient la principale force de travail. Les sols, peu épais et présentant une charge caillouteuse importante, voire de nombreux affleurements granitiques, expliquent le nombre élevé de friches observées à cette époque. Impropres aux cultures, elles étaient fauchées pour en faire des litières.

C'est à partir de 1955-57 que les premiers tracteurs font leur apparition. On constate alors une tendance à la récupération des friches au profit de prairies temporaires. Leur développement peut s'expliquer par la mise en place de coopératives de collecte du lait (exportation du lait sur le marché national) qui s'opère en même temps que l'application des progrès en génétique (sélection des races laitières…) et le développement des formations par correspondance mises en place par la JAC (Jeunesse Agricole Chrétienne) aux alentours de 1960.

Entre 1960 et 1968/70, c'est la fin du système de développement semi-autarcique, en raison d'une véritable révolution culturelle. Celle-ci s'opère grâce à la loi d'Orientation Agricole de 1960-62 ; les IVD (Indemnités Viagères de Départ) aident à l'implantation de jeunes agriculteurs ayant un certain niveau professionnel, délocalisant les anciens dans les centres-bourgs. Une illustration de cette rupture culturelle est la vente massive des vieilles armoires bretonnes au profit des meubles en formica. Avec cette rupture se perd le savoir-faire des anciens (mode de gestion des zones humides, des haies…). L'idée-force est d'aller dans le sens de la modernisation. Toutefois, cette modernisation est lente car la topographie et les sols n'y sont pas favorables. De plus, l'attachement culturel à la terre est très fort, ce qui n'a pas favorisé des modifications du foncier (échanges de parcelles, remembrement…). Le passage d'un système semi-autarcique à des exploitations mixtes laitier/viande ou laitier/volaille (petits ateliers hors-sol) est le résultat d'initiatives individuelles.

La période 1968/70 – 1983/84

En 1968, la SMI (Surface Minimale d'Installation) est de 18ha, traduisant une tendance à l'agrandissement des exploitations agricoles par rapport à la période précédente. Le début des années 1970 est marqué par des progrès techniques destinés à augmenter les productions : l'usage des engrais et des matières phosphorées se développe pour améliorer les potentialités des sols, favorisant, par corollaire, l'implantation de céréales ; du Ray-Gras Italien et du maïs ensilage sont introduits, soutenant indirectement la préservation du réseau bocager (les maïs versent sous l'effet du vent). La production des cultures est de plus en plus spécialisée. Cumulée aux IVD, la mécanisation influe sur la baisse de la main d'œuvre, sans que cela soit un facteur limitant pour la production.

En 1972/73, les GVA (Groupements de Vulgarisation Agricole) favorisent la diffusion des progrès techniques et témoignent de cette période de croissance. Alors que d'une manière générale, les IAA structurent les systèmes et types de productions, le relatif éloignement (peut-être lié à un réseau routier desservant mal cette zone) et le très fort attachement culturel local expliquent la moins forte intégration des IAA (Industries Agro-Alimentaires) dans ce secteur. La terre possède une vraie valeur, expliquant l'agrandissement des exploitations. L'essor des ateliers hors-sol porcins ne touche pas ce bassin versant qui est opposé à ce type de production. Les productions laitières et de volailles augmentent. La population est un peu plus âgée qu'ailleurs et elle reste relativement prudente sur le plan économique. La mise en place des plans de développement entre 1974 et 1976 favorise la modernisation des exploitations (stabulations, salles de traite…) et donc la production laitière. Toutefois, l'émergence des premières « grèves du lait » en 1972[35], la conjecture économique difficile de 1974 (choc pétrolier) vont engendrer un accès aux

[35] « Les grèves du lait de 1972 sont issues de mobilisations syndicales, de la FDSEA plus particulièrement, dont les exigences étaient un relèvement du prix du lait, la suppression de la péréquation hiver-été et plus fondamentalement la définition d'un prix de revient du litre de lait, de façon à garantir une juste rémunération et un revenu minimum au producteur. » *in* Canévet, 1992, pp. 193-194

crédits plus difficile et la nécessité de raisonner les charges pour les exploitations (1979). Les productions sont très importantes mais la demande ne suit plus.

La période 1983/84 – 1992

La mise en place des quotas laitiers a non seulement surpris les agriculteurs, mais a surtout remis en cause l'évolution des systèmes de production. Ils ont eu pour conséquence :

- une diversification des productions : mise en place d'ateliers taurillons (nécessitant la mise en place de cultures (maïs – céréales) ;
- une augmentation des surfaces en herbes pour s'adapter aux quotas ;
- une forte augmentation des productions de volailles hors-sol au sein des exploitations mixtes.

La logique territoriale passe désormais au second plan par rapport à logique économique de production : on assiste à des échanges parcellaires expliquant l'agrandissement de la maille parcellaire.

La période 1992 – aujourd'hui

La réforme de la PAC, et notamment des primes à l'hectare, a entraîné une hausse des cultures en général, mais sur le Lestolet, ce sont essentiellement les céréales (aides + prix intéressants) qui ont progressé. Les surfaces en maïs n'ont pas augmenté, en raison notamment de l'abandon des ateliers taurillons. L'orge a aussi pu évoluer car il est adapté à l'alimentation des élevages porcins.

Après la réforme, la tendance est au regroupement des prairies temporaires autour des sièges d'exploitations. Les cultures (céréales, maïs fourrager) sont quant à elles légèrement plus éloignées; leur répartition spatiale semble diffuse sur l'ensemble du bassin versant. Le regroupement des parcelles de cultures (céréales, maïs) dans la partie centre-nord s'explique par la présence de trois exploitations à dominante céréalière et de la route qui constitue un facteur limitant pour que ces parcelles puissent être pâturées (traversée des bovins difficile). Les îlots de cultures sont aussi liés à l'agrandissement des exploitations. Ceci favorise un éclaircissement de la structure paysagère, par un « démembrement » du réseau bocager (arasements ponctuels).

La spécialisation s'accentue vers le système laitier. On assiste même à des ventes d'ateliers avicoles hors sol pour accentuer la production laitière. D'un point de vue sociologique, la population est vieillissante (départ à la retraite des agriculteurs) et les jeunes semblent se désintéresser de cette activité (et de ce territoire ?). Le prix du foncier tend à augmenter à partir de 1996 en raison de la recherche, par les exploitants agricoles, de quotas supplémentaires, visant ainsi à augmenter leur production laitière.

C'est au cours de cette période que de nombreux outils de gestion du territoire sont mis en place, dont une partie résulte de l'émergence de préoccupations environnementales. Le programme BEP2 en est un exemple, et amène des évolutions dans les pratiques culturales (réalisation de diagnostics phytosanitaires à l'échelle parcellaire, implantation de bandes enherbées et de couverts hivernaux ponctuels) et de gestion de certains espaces (zones humides de fonds de vallées).

Rétrospective de l'évolution du Coët-Dan

La période 1945-1968/70

Au cours de cette période, le système de production du Coët-Dan est caractérisé par la polyculture-élevage, selon un mode quasi-autarcique, les échanges avec l'extérieur ne concernant que les surplus agricoles. Les contraintes naturelles, sous-bassement schisteux et pentes assez fortes, sont alors structurantes. La nature du substrat entraîne des étiages très bas et constitue une contrainte forte sur les activités agricoles.

Les niveaux de revenus, qui sont bas, sont liés au mode dominant de faire-valoir, le fermage, les terres étant concentrées sur de grandes propriétés entre les mains de quelques grandes familles nobles. C'est ce mode de faire valoir qui est à l'origine du développement économique sur le secteur : Ainsi, le Coët-Dan aurait présenté un assez grand nombre de fermiers pauvres qui, voulant faire face à la pénurie de terres, ont suivi une formation agricole, en profitant de la proximité d'une école agricole à Pontivy.

Tout au long de cette période, les systèmes de production n'ont globalement pas changé dans leur orientation, mais des restructurations apparaissent : les micro-exploitations disparaissent, en raison de départs à la retraite qui seront encouragés par des indemnités viagères de départ après 1967-68. Les premières crises de la volaille apparaissent et un début de modernisation du système de production voit le jour à travers la mutation professionnelle des meuniers en fabricants d'aliments. L'arrivée du gas-oil entraîne une baisse de la demande en bois de chauffage et par voie de conséquence les haies sont de moins en moins bien entretenues ; L'arrivée de la motorisation/mécanisation a quant à elle enclenché la régression du bocage, perçu alors comme une gêne à la mise en valeur des exploitations.

La période 1968/70 – 1983/84

C'est au cours de cette période que l'on assiste à une transformation importante de la structure paysagère, car la modernisation de l'agriculture passe par l'élimination des contraintes paysagères. Cela passe par une restructuration foncière réalisée par le biais de remembrements de type « table rase ». La commune de Naizin, sur laquelle le Coët-Dan est situé, est remembrée en 1972. L'attitude des propriétaires fonciers vis-à-vis de cette évolution (opposition, vente, …) reste mal appréhendée.

C'est aussi à cette époque que le développement des coopératives agricoles va favoriser l'augmentation des productions (lait, légumes, élevages hors-sol) sur le Coët-Dan, sortant ainsi le bassin versant du système quasi-autarcique dans lequel il vivait jusqu'alors. L'Etat favorise l'installation sur le bassin versant des jeunes exploitants

(Aides PISANI) qui adoptent des « pratiques modernes ». La culture du maïs apparaît sur le bassin versant à cette période.

La période 1983/84 – 1992

L'arrivée des quotas laitiers en 1984, en intensifiant et en concentrant la production sur moins de surfaces, a globalement favorisé le développement de cultures (céréales, maïs) pour les productions hors-sol sur le Coët-Dan, qui s'est spécialisé dans les élevages hors-sol porcins et avicoles –dindes et poulets de chair-, tout en conservant une base laitière, assez faible toutefois; Les cultures de ventes (légumes industriels) se développent rapidement sur les terres drainées. Les coopératives agricoles ont une emprise de plus en plus forte sur le bassin versant. Dans ce contexte agricole, les reprises d'exploitations sont nombreuses et la forte pression exercée sur les exploitations fait grimper le prix des terres agricoles.

La période 1992 – aujourd'hui

Les agriculteurs sont sensibles aux primes PAC à l'ha qui favorisent l'agrandissement des exploitations, essentiellement celles qui produisent du porc et de la volaille. C'est à cette époque que les plans d'épandage se mettent en place. Les cultures sont toujours dominantes, le Coët-Dan n'étant pas concerné par le gel des terres. Le bassin versant n'est pas non plus concerné par les mesures agri-environnementales, et ne met pas en place de programme de restauration de la qualité de l'eau. Le prix des terres augmente toujours, sous la pression foncière. Les exploitations hors-sol augmentent jusqu'en 1997, puis on observe une stagnation. Aujourd'hui, peu de jeunes s'installent, et les installations se font surtout dans le cadre d'agrandissement d'exploitations.

Rétrospective de l'évolution du Stang Varric

La période 1945-1968/70

Le système de production Stang Varric est caractérisé par un système mixte couplant la polyculture-élevage, la production de cidre et la production de bois de chauffage, ces deux dernières conférant au bassin versant une relative spécialisation. Les agriculteurs du secteur restent néanmoins autonomes. Les contraintes naturelles, en particulier les fortes pentes présentes sur une partie du bassin versant, sont alors structurantes. Les revenus des exploitants, le plus souvent propriétaires, sont assez élevés relativement aux autres bassins versants. Les plus riches possèdent les surfaces complantées de pommiers et les bois. Cependant, l'évolution de la consommation, avec l'arrivée du vin rouge, a engendré dès cette période le début du déclin des cidreries locales qui périclitent petit à petit. La baisse des surfaces complantées s'amorce, tandis qu'en parallèle la baisse de la demande de bois de chauffage entraîne le non entretien des haies qui va enclencher la régression du bocage sur le secteur, lors de l'arrivée de la motorisation/mécanisation. Celle-ci va entraîner le délaissement des fonds de vallées et leur fermeture paysagère, les tracteurs ne pouvant souvent pas y accéder.

La période 1968/70 – 1983/84

C'est au cours de cette période que l'on assiste à une transformation importante de la structure paysagère d'une partie du bassin versant, à travers une restructuration foncière sous la forme du remembrement de deux des quatre communes partiellement couvertes par le Stang Varric.

C'est aussi à cette époque que le développement des coopératives agricoles de Kergonan et de Landerneau va favoriser l'augmentation des productions hors sol en général et plus particulièrement de l'aviculture sur le secteur. Cette mutation agricole va entraîner l'augmentation des cultures de céréales et de maïs au détriment des prairies, ainsi qu'un apport important de fumier. Le Stang Varric voit ainsi la coexistence de deux « modèles agricoles » : l'ancien système de polyculture-élevage et le modèle agricole breton.

La période 1983/84 – 1992

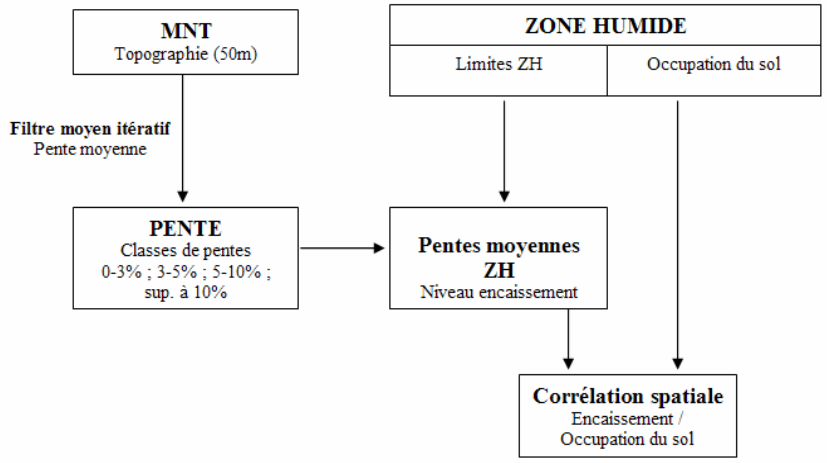
L'arrivée des quotas laitiers sur le Stang Varric se traduit à la fois par une concentration de ses productions (élevages hors-sol…), et par une extensification. Cependant la concentration des productions est dominante pour deux raisons : (1) les cultures ne peuvent s'étendre que de façon sensible dans un contexte de baisse de la SAU (2) la population agricole est devenue trop âgée. Cependant, cette période est celle de l'explosion des coopératives agricoles qui ont de plus en plus d'emprise sur le secteur, bien que le marché agricole ne soit pas très développé.

La proximité de Lorient semble avoir par ailleurs deux répercussions : les jeunes partent vers l'agglomération lorientaise ; l'émergence du phénomène de rurbanisation explique en partie la présence de résidences secondaires sur le bassin versant.

La période 1992 – aujourd'hui

Le Stang Varric connaît une augmentation des prairies, avec un développement de la production laitière. Les exploitations agricoles s'agrandissent légèrement. Le nombre de résidences secondaires continue d'augmenter, car les paysages du bassin versant -nombreuses surfaces boisées et versants abrupts - sont attractifs, aussi bien pour la population locale –Lorientais- que pour les étrangers, les anglais et allemands notamment, comme en témoigne l'importance du réseau de chemins de randonnées à proximité de Lorient.

Annexe 10. Méthodologie pour déterminer le niveau d'accessibilité topographique des zones humides



Annexe 11. Liste des personnes invitées lors de la réunion participative du 7/02/2005 destinée à la détermination des hypothèses de construction des scénarios prospectifs

Présents :

Laurence HUBERT-MOY, COSTEL UMR CNRS 6554, Enseignant-Chercheur, Université Rennes 2
Thomas HOUET, COSTEL, Doctorant, Université Rennes 2
Xavier POUX - AScA – Chercheur Associé RGTE-CIRED ENGREF
Annie LE LURON, Institution SAGE Blavet
Annie CHARTER, Chambre Agriculture 22 Rostrenen
Jacques BAUDRY, INRA SAD-Armorique
Bernard CLEMENT, ECOBIO UMR 6553
Nathalie GIBOIRE, COSTEL, Informaticiennne
Stéphanie GESLOT, Stagiaire COSTEL

Excusés :

Yvon BOUTIER, Agriculteur Membre CA22
Isabelle TREHOREL, Syndicat Mixte de Kerné Uhel
Yvon SIOU, Agence de l'Eau Loire-Bretagne
Jean-Pierre BAGEOT, Président Commission Locale de l'Eau SAGE Blavet

Annexe 12. Liste des personnes invitées lors de la réunion participative du 6/02/2006 destinée à la restitution et à l'évaluation des scénarios prospectifs

Présents :

Laurence HUBERT-MOY, COSTEL UMR CNRS 6554, Enseignant-Chercheur, Université Rennes 2
Thomas HOUET, COSTEL, Doctorant, Université Rennes 2
Isabelle TREHOREL, Syndicat Mixte de Kerné Uhel
Annie CHARTER, Chambre Agriculture 22 Rostrenen
Gabriel BEDUNEAU, ADASEA 22
Yvon SIOU, Agence de l'Eau Loire-Bretagne
Denis HENRY, Agriculteur

Excusés :

Xavier POUX - AScA – Chercheur Associé RGTE-CIRED ENGREF
Yvon BOUTIER, Agriculteur Membre CA22
Monique LE CLEZIO, Conseillère générale de Mûr de Bretagne
Jean-Yves PHILIPPE, Président Syndicat Mixte de Kerné Uhel
Jean-Pierre BAGEOT, Président Commission Locale de l'Eau SAGE Blavet
Annie LE LURON, Institution SAGE Blavet

Annexe 13. Questionnaire d'évaluation des scénarios prospectifs

1. Vous êtes :

- ☐ Acteur dans l'agriculture
- ☐ Acteur dans la gestion de l'eau
- ☐ Acteur dans le développement local
- ☐ Autre : ……

2. Evaluation des scénarios exploratoires

2.1. Evaluation des résultats / indicateurs utilisés

Comment appréciez-vous la manière dont sont restitués les scénarios prospectifs exploratoires ?

	Très explicite, utile et approprié	**Adapté et intéressant**	**Peu adapté ou explicite**	**Inutile ou inapproprié**
La représentation cartographique				
L'animation vidéo de l'évolution du paysage agricole bocager				
L'évolution des proportions des modes d'occupation des sols				
Les cartes de fréquences de retour en maïs des parcelles agricoles				
Les graphiques de fréquence de retour en maïs				
Les graphes des surfaces cumulées en maïs par classe de distance au cours d'eau				

2.2. Evaluation de l'apport des scénarios prospectifs exploratoires

Comment considérez-vous les résultats/connaissances apporté(e)s par les scénarios prospectifs ?

	Très utile, éclairant sur l'avenir	**Intéressant et potentiellement utile**	**Peu novateur ou utile**	**Inutile ou inapproprié**
Influence de la PAC sur les modes d'occupation des sols				
Influence de l'agrandissement des exploitations agricoles sur les modes d'occupation des sols				
Influence des changements des structures foncières sur les modes d'occupation des sols				
Influence des changements des structures foncières sur le rôle tampon du paysage				

Autres remarques sur les scénarios exploratoires :

3. Evaluation des scénarios normatifs

3.1. Evaluation des résultats / indicateurs utilisés

	Très explicite, utile et approprié	Adapté et intéressant	Peu adapté ou explicite	Inutile ou inapproprié
Le rendu sous forme de récits				
La représentation cartographique des images du futur				
L'évolution des proportions des modes d'occupation des sols (1981, 1998, 2014, 2027)				
L'évolution des proportions des modes d'occupation des sols au sein des zones humides de fond de vallée (1981, 1998, 2014, 2027)				
L'impact sur les flux d'eau (débits théoriques)				
La localisation du réseau bocager des scénarios prospectifs vis-à-vis des écoulements théoriques				
L'utilisation de valeurs quantifiées de densité bocagère, de fermeture des ZH et de flux d'eau				
L'utilisation de valeurs théoriques approximatives estimées pour la qualité de l'eau et des milieux aquatiques				

3.2. Evaluation de l'apport des scénarios prospectifs normatifs

Comment considérez-vous les résultats/connaissances apporté(e)s par les scénarios prospectifs ?

	Très utile, éclairant sur l'avenir	Intéressant et potentiellement utile	Peu novateur ou utile	Inutile ou inapproprié
Sur les exigences et contraintes de l'activité agricole				
Sur les exigences et contraintes des gestionnaires de l'eau				
Sur les relations entre exploitants agricoles et gestionnaires de l'eau				

3.3. Appréciation des scénarios prospectifs normatifs

Considérez-vous le scénario A comme :

Très probable □ Probable □ Peu probable □ Improbable □
Très souhaitable □ Souhaitable □ Peu Souhaitable □ Non souhaitable □

Considérez-vous le scénario B comme :

Très probable □ Probable □ Peu probable □ Improbable □
Très souhaitable □ Souhaitable □ Peu Souhaitable □ Non souhaitable □

Considérez-vous le scénario C comme :

Très probable □ Probable □ Peu probable □ Improbable □
Très souhaitable □ Souhaitable □ Peu Souhaitable □ Non souhaitable □

Autres remarques sur les scénarios normatifs :

4. Evaluation de l'apport de l'ensemble des scénarios prospectifs spatialisés à l'échelle locale

4.1. Pensez-vous que les scénarios prospectifs peuvent aider à une gestion de l'eau efficace et durable (pour les hommes et l'environnement) dans le temps grâce à :

		Tout à fait d'accord	Plutôt d'accord	Pas tout à fait d'accord	Pas du tout d'accord*
1	La localisation précise des zones potentiellement à risque				
2	La quantification précise des évolutions futures				
3	Le rendu cartographique apporte plus de réalisme (comparativement aux seuls récits)				
4	La compréhension des processus de changements des paysages agricoles bocagers et de leurs répercussions potentielles sur les ressources en eau				
5	La meilleure prise en compte du contexte local dans les actions de gestion de l'eau (Aménagements, pratiques agricoles, conseils individuels, etc.)				
6	La prise de conscience des enjeux et contraintes de l'ensemble des personnes / acteurs concernés				
7	La diffusion des résultats auprès de l'ensemble des acteurs concernés				
8	La mise en discussion de la question de la gestion de l'eau				

* si vous n'êtes pas du tout d'accord, expliquez brièvement pourquoi ?

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1. CADRE CONCEPTUEL DE L'OCCUPATION ET L'UTILISATION DES SOLS (HUBERT-MOY, 2004)..... - 25 -
FIGURE 2. EVOLUTION DE LA SAU ET DU NOMBRE D'EXPLOITATIONS AGRICOLES EN BRETAGNE ENTRE 1955 ET 2000..... - 28 -
FIGURE 3. LES CULTURES DOMINANTES EN 1988 ..... - 30 -
FIGURE 4. TYPOLOGIE COMMUNALE EN 1988 EN FONCTION DE LA MBS PAR HECTARE, PAR EXPLOITANT ET PAR UTA (MBS BASE 1986) ..... - 31 -
FIGURE 5. CONCENTRATIONS EN NITRATES : (A) EVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ANNUELLES SUR LA PERIODE 1972-2001 ET (B) CONCENTRATIONS EN 2001 AUX POINTS DE PRELEVEMENTS DU RESEAU SEQ-EAU ..... - 32 -
FIGURE 6. CARTE DES RESIDUS PHYTOSANITAIRES ..... - 33 -
FIGURE 7. FREQUENCE DE DEPASSEMENT DU SEUIL REGLEMENTAIRE DE 0,1 µG.L-1 POUR LES MOLECULES LES PLUS FREQUEMMENT REPEREES DANS L'EAU DES RIVIERES DU RESEAU CORPEP..... - 33 -
FIGURE 8. EVOLUTION DES QUANTITES D'ALGUES VERTES PROLIFERANTES RAMASSEES SUR LE LITTORAL ET DU NOMBRE DE COMMUNES TOUCHEES ENTRE 1997 ET 2001 ..... - 34 -
FIGURE 9. TRANSFERTS DE FLUX D'EAU ET DE NUTRIMENTS LE LONG D'UN VERSANT VERS UN COURS D'EAU..... - 37 -
FIGURE 10. HIERARCHISATION DES ZONES HUMIDES : CONFIGURATION THEORIQUE ..... - 39 -
FIGURE 11. UNE SUPERPOSITION DE TEXTES REGLEMENTAIRES SUR L'EAU ..... - 42 -
FIGURE 12. UN ENCHEVETREMENT D'ACTEURS INSTITUTIONNELS ..... - 43 -
FIGURE 13. DE NOMBREUX PROGRAMMES DE RECONQUETE DE LA QUALITE DES EAUX..... - 44 -
FIGURE 14. LES BASSINS VERSANTS DU PROGRAMME BRETAGNE EAU PURE 2000-2006..... - 46 -
FIGURE 15. EVOLUTION DES CONCENTRATIONS MOYENNES ET MAXIMALES EN NITRATES ENTRE 1996 ET 2001 DANS LES BASSINS VERSANTS BRETAGNE EAU PURE..... - 46 -
FIGURE 16. LES SAGE EN BRETAGNE EN DECEMBRE 2002 ..... - 47 -
FIGURE 17. LA « DEMARCHE PROSPECTIVE » SELON M. GODET ..... - 60 -
FIGURE 18. REPRESENTATIONS TRIDIMENSIONNELLES (A) D'UN SCENARIO EXPLORATOIRE ET (B) D'UN SCENARIO NORMATIF .... - 61 -
FIGURE 19. GRAPHE TRIDIMENSIONNEL D'ANALYSE DE LA REPRESENTATION DU NIVEAU DE COMPLEXITE D'UN OUTIL DE MODELISATION D'UN SYSTEME COMPLEXE, ILLUSTRE DE QUELQUES EXEMPLES D'OUTILS DE MODELISATION ..... - 70 -
FIGURE 20. EXEMPLE D'UTILISATION DES CHOREMES POUR REPRESENTER L'EVOLUTION DES UNITES DE GESTION AGRICOLE DANS UN VILLAGE LORRAIN..... - 71 -
FIGURE 21. EXEMPLES DE (A) VUE PAYSAGERE PAR BLOC DIAGRAMME D'UN VALLON ET DE (B) VUE PAYSAGERE NUMERIQUE DE LA COMMUNE DE VISCOMTAT – PUY-DE-DOME ..... - 72 -
FIGURE 22. ILLUSTRATION DE L'ANALYSE SYSTEMIQUE EN GEOGRAPHIE CHERCHANT A DEFINIR L'ENSEMBLE DES INTERACTIONS ENTRE CONTRAINTES ET TERRITOIRE(S) QUI LE STRUCTURENT ET LE FONT FONCTIONNER..... - 73 -
FIGURE 23. DIFFERENCIATION ENTRE (A) DES MODELES DESTINES A DES APPLICATIONS SPECIFIQUES, (B) UNE PLATEFORME DE MODELISATION QUI REGROUPE UN NOYAU COMMUN DE DONNEES, DE CONNAISSANCES ET DE METHODES ET AUTOUR DUQUEL GRAVITE DES MODELES QUI REPONDENT A DES OBJECTIFS SPECIFIQUES, ET (C) UN MODELE UNIVERSEL QUI EST CAPABLE DE REPONDRE A TOUS LES OBJECTIFS..... - 75 -
FIGURE 24. EXEMPLE D'AUTOMATE CELLULAIRE (SPACELLE) ET DE REGLES DE TRANSITION DETERMINISTES ..... - 77 -
FIGURE 25. FONCTIONNEMENT DE L'APPROCHE DLS DE WANG AND ZANG (2001) APPLIQUEE SUR CHICAGO..... - 77 -
FIGURE 26. DIFFERENCIATION ENTRE UNE SIMULATION (A GAUCHE) PAR AUTOMATE CELLULAIRE DE LA DEFORESTATION EN AMAZONIE EQUATORIENNE A L'AIDE DU MODELE DELTA ET LA SITUATION REELLE (A DROITE) TEMOIGNANT DES LIMITES DES AUTOMATES CELLULAIRES A MODELISER L'INFLUENCE DES INTERACTIONS SOCIALES..... - 78 -
FIGURE 27. FONCTIONNEMENT GENERAL D'UN AGENT AU SEIN D'UN SMA ..... - 79 -
FIGURE 28. REPRESENTATION SCHEMATIQUE D'UN SMA EN GEOGRAPHIE ..... - 79 -
FIGURE 29. FONCTIONNEMENT SCHEMATIQUE D'UN NEURONE ARTIFICIEL ..... - 81 -
FIGURE 30. TAXONOMIE DES MODELES DES RESEAUX DE NEURONES ARTIFICIELS. LES MODELES SONT CLASSIFIES DANS L'ORDRE DE HAUT EN BAS SELON LE NOMBRE DE COUCHES (EXCLUANT LA COUCHE D'ENTREE), LA DYNAMIQUE DE PROPAGATION, UNIDIRECTIONNELLE OU BIDIRECTIONNELLE, ET LE MODE D'APPRENTISSAGE. ..... - 81 -
FIGURE 31. EXEMPLE D'ARCHITECTURE DU RESEAU MONOCOUCHE AUTO-ORGANISANT DE KOHONEN..... - 82 -
FIGURE 32. PROCEDURE STANDARD POUR ETUDIER LES FACTEURS DE CHANGEMENTS D'UN PAYSAGE ..... - 84 -
FIGURE 33. SCHEMA DE SYNTHESE DE LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE D'ELABORATION DE SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES ET EVALUES..... - 86 -
FIGURE 34. LOCALISATION DU BASSIN VERSANT DU BLAVET ..... - 94 -
FIGURE 35. LES GRANDES CATEGORIES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS SUR LE BLAVET..... - 95 -
FIGURE 36. TOPOGRAPHIE ET DISPARITES LOCALES DU BASSIN VERSANT DU BLAVET EN 2000..... - 97 -
FIGURE 37. LA QUALITE MOYENNE EN NITRATES DES COURS D'EAU DU BLAVET ENTRE 1997 ET 2002 ..... - 99 -
FIGURE 38. LA QUALITE MOYENNE EN PHOSPHORE DES COURS D'EAU DU BLAVET ENTRE 1997 ET 2002 ..... - 99 -
FIGURE 39. LA QUALITE MOYENNE EN PESTICIDES DES COURS D'EAU DU BLAVET ENTRE 1997 ET 2002..... - 100 -
FIGURE 40. LOCALISATION DES SITES D'ETUDES ..... - 103 -
FIGURE 41. PAYSAGE ET TOPOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT DU LESTOLET ..... - 104 -
FIGURE 42. LOCALISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DE LEUR SYSTEME DE PRODUCTION DU BASSIN VERSANT DU LESTOLET EN 1998..... - 105 -

FIGURE 43. PAYSAGE ET TOPOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT DU COËT-DAN ..... - 106 -
FIGURE 44. LOCALISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DE LEUR SYSTEME DE PRODUCTION DU BASSIN VERSANT DU COËT-DAN EN 2005 ..... - 107 -
FIGURE 45. PAYSAGE ET TOPOGRAPHIE DU BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC ..... - 108 -
FIGURE 46. LOCALISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DE LEUR SYSTEME DE PRODUCTION DU BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC EN 2005 ..... - 109 -
FIGURE 47. PRESENCE DU RESEAU BOCAGER SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET EN 1952, 1966, 1981, 1998 ..... - 121 -
FIGURE 48. PRESENCE DU RESEAU BOCAGER SUR LE BASSIN VERSANT DU COËT-DAN EN 1952, 1960, 1972, 1981, 1999 ... - 122 -
FIGURE 49. PRESENCE DU RESEAU BOCAGER SUR LE BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC EN 1952, 1958, 1976, 1981, 1999..... ..... - 123 -
FIGURE 50. EVOLUTION DES HAIES AYANT UN IMPACT SUR LES TRANSFERTS DE FLUX DE SURFACE SUR LES BASSINS VERSANTS DU LESTOLET, DU COËT-DAN ET DU STANG VARRIC DEPUIS 1952 ..... - 124 -
FIGURE 51. EVOLUTION DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES ENTRE 1952 ET 1998 SUR LE LESTOLET ..... - 125 -
FIGURE 52. EVOLUTION DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES ENTRE 1952 ET 1999 SUR LE COËT-DAN..... - 126 -
FIGURE 53. EVOLUTION DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES ENTRE 1952 ET 1999 SUR LE STANG VARRIC ..... - 126 -
FIGURE 54. EVOLUTION DE LA LONGUEUR DE CONTACT ENTRE LA ZONE HUMIDE DE FONDS DE VALLEES ET LE VERSANT DEPUIS 1952 SUR LES TROIS BASSINS VERSANTS ..... - 127 -
FIGURE 55. EVOLUTION (A) DE L'INDICE DE COMPACITE, (B) DU NOMBRE DE COMPARTIMENTS ET (C) DE LA TAILLE MOYENNE DES COMPARTIMENTS DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES DES TROIS BASSINS VERSANT ET DE LA MOYENNE DES TROIS BASSINS VERSANTS ..... - 127 -
FIGURE 56. EVOLUTION DE LA TAILLE MOYENNE DU PARCELLAIRE AGRICOLE (EN HA) DES TROIS SOUS BASSINS VERSANTS ENTRE 1952 ET 1999 ..... - 128 -
FIGURE 57. EVOLUTION DE LA DISTRIBUTION DE LA TAILLE DU PARCELLAIRE DE LA SAU DEPUIS 1952 PAR BASSIN VERSANT..... ..... - 129 -
FIGURE 58. RÉPARTITION DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DEPUIS 1952 PAR BASSIN VERSANT ..... - 131 -
FIGURE 59. CARTOGRAPHIE DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DEPUIS 1952 SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ..... - 132 -
FIGURE 60. CARTOGRAPHIE DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DEPUIS 1952 SUR LE BASSIN VERSANT DU COËT-DAN.... - 133 -
FIGURE 61. CARTOGRAPHIE DES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL DEPUIS 1952 SUR LE BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC .... - 134 -
FIGURE 62. EVOLUTION DU RATIO « CULTURES / SURFACES EN HERBE » DEPUIS 1952 SUR LES TROIS BASSINS VERSANTS... - 135 -
FIGURE 63. EVOLUTION DE LA REPARTITION DES GRANDS TYPES D'OCCUPATION DES SOLS (CULTURES, SURFACES EN HERBE, FRICHES) SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ..... - 136 -
FIGURE 64. EVOLUTION DE LA REPARTITION DES GRANDS TYPES D'OCCUPATION DES SOLS (CULTURES, SURFACES EN HERBE) SUR LE BASSIN VERSANT DE COËT-DAN..... - 137 -
FIGURE 65. EVOLUTION DE LA REPARTITION DES GRANDS TYPES D'OCCUPATION DES SOLS (CULTURES, SURFACES EN HERBE, FRICHES, BOISEMENTS) SUR LE BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC ..... - 137 -
FIGURE 66. EVOLUTION DE LA REPARTITION DES CLASSES D'OCCUPATION DES SOLS AU SEIN DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES DEPUIS 1952 POUR LES TROIS BASSINS VERSANTS ..... - 138 -
FIGURE 67. EVOLUTION DES SOLS NUS A PEU COUVERTS EN HIVER DEPUIS 1996 SUR LES 3 BASSINS VERSANTS (%/SAU) .. - 139 -
FIGURE 68. CARTOGRAPHIE DE LA FREQUENCE DE LA PRESENCE DE SOLS NUS A PEU COUVERTS DEPUIS 1996 SUR LES TROIS BASSINS VERSANTS (/ SAU) ..... - 140 -
FIGURE 69. EVOLUTION DES SOLS NUS « VERITABLES » EN HIVER SUR LES 3 BASSINS VERSANTS (%/SAU)..... - 140 -
FIGURE 70. CARTOGRAPHIE DE LA FREQUENCE DE LA PRESENCE DE SOLS NUS « VERITABLES » DEPUIS 1996 SUR LE BASSIN VERSANT DE COËT-DAN (/ SAU)..... - 141 -
FIGURE 71. COMPARAISON DES RATIOS CULTURES/STH SUR LES 3 BASSINS VERSANTS ETUDIES POUR L'ETE 2002 ..... - 141 -
FIGURE 72. EVOLUTION DU RATIO CULTURES/STH SUR LE BASSIN VERSANT DU COËT-DAN (1996-2002)..... - 141 -
FIGURE 73. SYNTHESE DES TRAJECTOIRES D'UTILISATION DES TERRES SUR LES SITES D'ETUDES DEPUIS 1952..... - 142 -
FIGURE 74. FACTEURS ET RELATIONS INTER-FACTEURS INFLUANT SUR L'EVOLUTION DES STRUCTURES PAYSAGERES ET DES MODES D'OCCUPATIONS DES SOLS D'UN BASSIN VERSANT ENTRE 1945 ET 1968/70..... - 152 -
FIGURE 75. FACTEURS ET RELATIONS INTER-FACTEURS INFLUANT SUR L'EVOLUTION DES STRUCTURES PAYSAGERES ET DES MODES D'OCCUPATIONS DES SOLS D'UN BASSIN VERSANT ENTRE 1968/70 ET 1982/83..... - 153 -
FIGURE 76. FACTEURS ET RELATIONS INTER-FACTEURS INFLUANT SUR L'EVOLUTION DES STRUCTURES PAYSAGERES ET DES MODES D'OCCUPATIONS DES SOLS D'UN BASSIN VERSANT ENTRE 1982/83 ET 1992..... - 154 -
FIGURE 77. FACTEURS ET RELATIONS INTER-FACTEURS INFLUANT SUR L'EVOLUTION DES STRUCTURES PAYSAGERES ET DES MODES D'OCCUPATIONS DES SOLS D'UN BASSIN VERSANT ENTRE 1992 ET AUJOURD'HUI ..... - 155 -
FIGURE 78. EVOLUTION DU RATIO « CULTURES / SURFACES EN HERBE » A L'ECHELLE COMMUNALE ..... - 157 -
FIGURE 79. EVOLUTION DE LA MBS/HA SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET DE 1955 A 2000 ..... - 158 -
FIGURE 80. EVOLUTION DU NOMBRE D'EXPLOITANTS AGRICOLES SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET, DE 1955 A 2000 .. - 159 -
FIGURE 81. EVOLUTION DE LA PROPORTION DE SAU EN FERMAGE SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET, DE 1955 A 2000 . - 160 -
FIGURE 82. EVOLUTION DE LA DENSITE DE BOVINS SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET, DE 1955 A 2000 ..... - 160 -
FIGURE 83. EVOLUTION DE LA DENSITE DE PORCS SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET, DE 1955 A 2000 ..... - 161 -
FIGURE 84. EVOLUTION DE LA DENSITE DE VOLAILLES..... - 162 -
FIGURE 85. EVOLUTION DU NOMBRE CUMULE DE PDA SUR LES PERIODES 1974-88 ET 1989-2000 ..... - 162 -
FIGURE 86. LES AIDES LA CESSATION D'ACTIVITE SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET ENTRE 1992 ET 2000 (EN EQUIVALENT SURFACE - % DE SAU) ..... - 163 -
FIGURE 87. REPARTITIONS DES CLASSES DE PENTE SUR LES TROIS BASSINS VERSANTS ..... - 163 -

FIGURE 88. DIFFUSION SPATIALE ET TEMPORELLE DU REMEMBREMENT SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET ET IMPACT SUR LES DENSITES BOCAGERES SUR LES COMMUNES DES SOUS BASSINS VERSANTS ETUDIES ..... - 165 -
FIGURE 89. EVOLUTION DE LA MOTORISATION SUR LE BASSIN VERSANT DU BLAVET, DE 1955 A 2000 ..... - 166 -
FIGURE 90. NIVEAU « D'ACCESSIBILITE TOPOGRAPHIQUE » DES ZONES HUMIDES DES SITES D'ETUDE ..... - 168 -
FIGURE 91. REPRESENTATION SYSTEMIQUE D'UN PAYSAGE AGRICOLE BOCAGER ..... - 182 -
FIGURE 92. EVOLUTION DES DENSITES DE POPULATION ENTRE 1982 ET 1999 DANS LES DEPARTEMENTS DES COTES D'ARMOR ET DU MORBIHAN – LE BASSIN VERSANT DU BLAVET EST DETOURE EN ROUGE – ET PROJECTIONS DEMOGRAPHIQUES A L'HORIZON 2030 ..... - 188 -
FIGURE 93. SCHEMA RECAPITULATIF DU SYSTEME D'AIDES ISSUES DE LA REFORME DE LA PAC 2006 ..... - 202 -
FIGURE 94. AGRANDISSEMENT ESTIME DES EXPLOITATIONS AGRICOLES SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ENTRE 1998 ET 2020 ..... - 205 -
FIGURE 95. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DU MODELE LANDBUF : MODELE D'ANALYSE SPATIALE DU RISQUE DE TRANSFERT DE NUTRIMENTS ..... - 212 -
FIGURE 96. DISTINCTION DE LA ZONE CONTRIBUTIVE « TOPOGRAPHIQUE » (A GAUCHE) ET CELLE TENANT COMPTE DU ROLE DU BOCAGE MODELISE A L'AIDE DU MODELE ODISSES (A DROITE) ..... - 213 -
FIGURE 97. STRUCTURATION DE LA PLATEFORME DE MODELISATION L1 ..... - 220 -
FIGURE 98. SCHEMA DE SYNTHESE DES PARAMETRES NECESSAIRES ET DU FONCTIONNEMENT DU MODULE POUR REALISER UNE SIMULATION D'UN PAYSAGE AGRICOLE BOCAGER AVEC LA PLATEFORME L1 ..... - 221 -
FIGURE 99. MODELISATION DE L'ALLOCATION SPATIALE DES TYPES D'OCCUPATION DU SOL : DES SUCCESSIONS CULTURALES VARIABLES SELON LA DISTANCE DES PARCELLES AU SIEGE D'EXPLOITATION AGRICOLE ET DES CONTRAINTES AGRONOMIQUES ..... - 223 -
FIGURE 100. EXEMPLES DE TESTS DE SENSIBILITE (A) DU RESPECT DE L'ASSOLEMENT PAR SYSTEME DE PRODUCTION, (B) SUR L'EVOLUTION DES ASSOLEMENTS DANS LE TEMPS ET (C) SUR LA CREATION DE HAIES ..... - 225 -
FIGURE 101. EVOLUTION TEMPORELLE DE L'OCCUPATION DU SOL ET DU BOCAGE DU BASSIN VERSANT DU LESTOLET ENTRE 1981 ET 1998 SIMULEE PAR LA PLATEFORME L1 ..... - 228 -
FIGURE 102. COMPARAISON « PAYSAGE SIMULE / PAYSAGE REEL » EN 1998 ..... - 229 -
FIGURE 103. COMPARAISON « PAYSAGE SIMULE / PAYSAGE REEL » DE LA REPARTITION DES SURFACES CUMULEES DE PARCELLES DE MAÏS PAR RAPPORT AU RESEAU HYDROGRAPHIQUE (PAR CLASSES DE DISTANCES) EN 1998 ..... - 230 -
FIGURE 104. COMPARAISON « PAYSAGE SIMULE / PAYSAGE REEL » DE LA REPARTITION DES PARCELLES PAR CLASSES DE TAILLE EN 1998 ..... - 230 -
FIGURE 105. COMPARAISON DES PROPORTIONS DE SAU SIMULEES ET OBSERVEES REPARTIES PAR CLASSE DE TAILLE DE PARCELLES POUR LES DIFFERENTS SYSTEMES DE PRODUCTION EN 1998 ..... - 231 -
FIGURE 106. AMELIORATION DES SUCCESSIONS CULTURALES SUIVANT LES DIFFERENTS SYSTEMES DE PRODUCTION ..... - 232 -
FIGURE 107. SUCCESSIONS CULTURALES MODELISEES CONCEPTUELLEMENT POUR LES SYSTEMES DE PRODUCTION INTEGRANT UN ATELIER « LEGUMES INDUSTRIELS » DANS LEUR PRODUCTION ..... - 232 -
FIGURE 108. EVOLUTION DES PROPORTIONS DES TYPES D'OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DU LESTOLET ENTRE 1998 ET 2020 POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 245 -
FIGURE 109. EVOLUTION SPATIALISEE DES MODES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ENTRE 1998 ET 2018 ..... - 246 -
FIGURE 110. CARTES DES OCCURRENCES EN MAÏS DES PARCELLES DU LESTOLET SUR LA PERIODE 1998-2020 POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 248 -
FIGURE 111. PROPORTIONS DE SURFACE POTENTIELLE EN MAÏS SUJETTE A RECEVOIR UNE FREQUENCE DE RETOUR DEFINIE POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 POUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET SUR LA PERIODE 1998-2020 ..... - 249 -
FIGURE 112. SURFACES CUMULEES EN MAÏS PAR CLASSES DE DISTANCE AU COURS D'EAU EN 2020 SUR LE LESTOLET POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 250 -
FIGURE 113. EVOLUTION DES PROPORTIONS DES TYPES D'OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DU COËT-DAN ENTRE 1999 ET 2020 POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 251 -
FIGURE 114. EVOLUTION SPATIALISEE DES MODES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 SUR LE BASSIN VERSANT DU COËT-DAN ENTRE 1999 ET 2019 ..... - 252 -
FIGURE 115. CARTES DES OCCURRENCES EN MAÏS DES PARCELLES DU COËT-DAN SUR LA PERIODE 1999-2020 POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 254 -
FIGURE 116. PROPORTIONS DE SURFACE POTENTIELLE EN MAÏS SUJETTE A RECEVOIR UNE FREQUENCE DE RETOUR DEFINIE POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 POUR LE BASSIN VERSANT DU COËT-DAN SUR LA PERIODE 1999-2020 ..... - 255 -
FIGURE 117. SURFACES CUMULEES EN MAÏS PAR CLASSES DE DISTANCE AU COURS D'EAU EN 2020 SUR LE COËT-DAN POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 255 -
FIGURE 118. EVOLUTION SPATIALISEE DES MODES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 SUR LE BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC ENTRE 1999 ET 2019 ..... - 257 -
FIGURE 119. EVOLUTION DES PROPORTIONS DES TYPES D'OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC ENTRE 1999 ET 2020 POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 258 -
FIGURE 120. CARTES DES OCCURRENCES EN MAÏS DES PARCELLES DU STANG VARRIC DURANT LA PERIODE 1999-2020 POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 259 -
FIGURE 121. PROPORTIONS DE SURFACE POTENTIELLE EN MAÏS SUJETTE A RECEVOIR UNE FREQUENCE DE RETOUR DEFINIE POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 POUR LE BASSIN VERSANT DU STANG VARRIC SUR LA PERIODE 1999-2020 ..... - 260 -
FIGURE 122. SURFACES CUMULEES EN MAÏS PAR CLASSES DE DISTANCE AU COURS D'EAU EN 2020 SUR LE STANG VARRIC POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 ..... - 260 -
FIGURE 123. EVOLUTION DES PROPORTIONS DES TYPES D'OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DU LESTOLET ENTRE 1998 ET 2020 POUR LES SCENARIOS 4, 5 ET 6 ..... - 262 -

FIGURE 124. EVOLUTION SPATIALISEE DES MODES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS POUR LES SCENARIOS 4, 5 ET 6 SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ENTRE 1998 ET 2018 ..... - 263 -
FIGURE 125. CARTES DES OCCURRENCES EN MAÏS DES PARCELLES DU LESTOLET DURANT LA PERIODE 1998-2020 POUR LES SCENARIOS 4, 5 ET 6 ..... - 265 -
FIGURE 126. PROPORTIONS DE SURFACE POTENTIELLE EN MAÏS SUJETTE A RECEVOIR UNE FREQUENCE DE RETOUR DEFINIE POUR LES SCENARIOS 1, 2, 3, 4, 5 ET 6 POUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET SUR LA PERIODE 1998-2020 ..... - 266 -
FIGURE 127. SURFACES CUMULEES EN MAÏS PAR CLASSES DE DISTANCE AU COURS D'EAU EN 2020 SUR LE LESTOLET POUR LES SCENARIOS 1, 2, 3, 4, 5 ET 6 ..... - 267 -
FIGURE 128. REPARTITION DES TAILLES DE PARCELLES DE LA SAU DU LESTOLET EN 2020 POUR LES SCENARIOS 5, 7 ET 8 .. - 269 -
FIGURE 129. EVOLUTION DE LA DENSITE BOCAGERE SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET POUR LES SCENARIOS 5, 7 ET 8 ENTRE 1998 ET 2020 ..... - 270 -
FIGURE 130. EVOLUTION DES PROPORTIONS DES TYPES D'OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE DU BASSIN VERSANT DU LESTOLET ENTRE 1998 ET 2020 POUR LES SCENARIOS 5, 7 ET 8 ..... - 271 -
FIGURE 131. CARTES DES OCCURRENCES EN MAÏS DES PARCELLES DU LESTOLET DURANT LA PERIODE 1998-2020 POUR LES SCENARIOS 5, 7 ET 8 ..... - 272 -
FIGURE 132. PROPORTIONS DE SURFACE POTENTIELLE EN MAÏS SUJETTE A RECEVOIR UNE FREQUENCE DE RETOUR DEFINIE POUR LES SCENARIOS 5, 7 ET 8 POUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET SUR LA PERIODE 1998-2020 ..... - 273 -
FIGURE 133. LOCALISATION DES ZONES DIRECTEMENT CONNECTEES AU RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU LESTOLET D'APRES LA SITUATION INITIALE EN 1998 ET LES IMAGES EN 2020 DES SCENARIOS 5 ET 8 ..... - 274 -
FIGURE 134. SURFACES DE TYPES D'OCCUPATION DES SOLS SITUEES DANS LES ZONES CONTRIBUTIVES DES TRANSFERTS DE FLUX DE SURFACE EN 1998 ET EN 2020 POUR LES SCENARIOS 5 ET 8 ..... - 275 -
FIGURE 135. CARTES DE RISQUE MOYEN VIS-A-VIS DES TRANSFERTS DE FLUX DE SUB-SURFACE SUR LE LESTOLET ISSUES DES SCENARIOS 5, 7 ET 8 POUR LA PERIODE 1998-2020 ..... - 276 -
FIGURE 136. L'IMAGE DU LESTOLET EN 2005 ..... - 283 -
FIGURE 137. L'IMAGE DU LESTOLET EN 2014 D'APRES LE SCENARIO A ..... - 287 -
FIGURE 138. L'IMAGE DU LESTOLET EN 2027 D'APRES LE SCENARIO A ..... - 289 -
FIGURE 139. L'IMAGE DU LESTOLET EN 2014 D'APRES LE SCENARIO B ..... - 291 -
FIGURE 140. L'IMAGE DU LESTOLET EN 2027 D'APRES LE SCENARIO B ..... - 293 -
FIGURE 141. L'IMAGE DU LESTOLET EN 2027 D'APRES LE SCENARIO C ..... - 295 -
FIGURE 142. EVOLUTION DES PROPORTIONS D'OCCUPATION DES SOLS ENTRE 1981 ET 2027 POUR LES SCENARIOS A, B ET C SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ..... - 297 -
FIGURE 143. EVOLUTION DES TYPES D'OCCUPATION DES SOLS AU SEIN DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES ENTRE 1981 ET 2027 POUR LES SCENARIOS A, B ET C SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ..... - 298 -
FIGURE 144. EVOLUTION DE LA DENSITE BOCAGERE ENTRE 1952 ET 2027 POUR LES SCENARIOS A, B ET C SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ..... - 299 -
FIGURE 145. CARTES DES ECOULEMENTS CUMULES ET HYDROGRAMMES DE CRUES THEORIQUES ISSUS DE LA MORPHOLOGIE DU BASSIN VERSANT (*MORPHO*),DE LA SITUATION INITIALE ET DES TROIS SCENARIOS A, B ET C (*SC A, B ET C*) POUR LE LESTOLET ..... - 300 -
FIGURE 146. LOCALISATION DES STRUCTURES LINEAIRES BOISEES EN 1998 ET 2027 POUR LES SCENARIOS A, B ET C SUR LE LESTOLET VIS-A-VIS DES ECOULEMENTS DE SURFACES SIMULES PAR LE MODELE RUICELLS ..... - 300 -

LISTE DES ENCADRES

ENCADRE 1. UNE DEFINITION DE LA PROSPECTIVE DONNE PAR JULIEN *ET AL.* (1975) ..... - 51 -
ENCADRE 2. LES REGLES D'OR DU BON PROSPECTIVISTE ..... - 63 -
ENCADRE 3. DEFINITION D'UN GEOSYSTEME ..... - 66 -
ENCADRE 4. « LE VISIBLE, LE PALPABLE ET LE CACHE : PRINCIPES POUR UN PROJET AGRICOLE EN BRETAGNE » ..... - 190 -

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1. LES DIFFERENTS NIVEAUX DE MODELISATION DE LA COMPLEXITE SUR LE PLAN DES DECISIONS HUMAINES... - 70 -
TABLEAU 2. CARACTERISTIQUES DES MISSIONS AERIENNES UTILISEES ... - 113 -
TABLEAU 3. CARACTERISTIQUES DES IMAGES SATELLITAIRES UTILISEES ... - 114 -
TABLEAU 4. LISTE DES DONNEES SIG UTILISEES ... - 115 -
TABLEAU 5. CARACTERISTIQUES DES CONTROLES TERRAIN UTILISES ... - 116 -
TABLEAU 6. STATISTIQUES AGRICOLES UTILISEES ... - 116 -
TABLEAU 7. LES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL POUR LA PERIODE 1952-1999 ... - 117 -
TABLEAU 8. LES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL EN HIVER POUR LA PERIODE 1996-2002 ... - 117 -
TABLEAU 9. LES CLASSES D'OCCUPATION DU SOL ANNUELLES POUR LA PERIODE 1996-2002 ... - 118 -
TABLEAU 10. MATRICES DE TRANSITION MONTRANT L'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS ENTRE 1952 ET 1966 SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET (SURFACES EN M² ET %) ... - 119 -
TABLEAU 11. EVOLUTION DE LA DENSITE DE HAIES AYANT UN IMPACT SUR LES TRANSFERTS DE FLUX DE SURFACE SUR LES TROIS BASSINS VERSANTS DEPUIS 1952 ... - 120 -
TABLEAU 12. DESCRIPTEURS DES FACTEURS DE CHANGEMENTS ET SOURCES DES DONNEES UTILISEES POUR LES THEMATIQUES BOCAGE (B), ZONE HUMIDE (ZH) ET OCCUPATION DU SOL (OS) ... - 156 -
TABLEAU 13. HIERARCHISATION DES FACTEURS D'EVOLUTION DE L'OCCUPATION DES SOLS ... - 169 -
TABLEAU 14. HIERARCHISATION DES FACTEURS D'EVOLUTION DU BOCAGE ... - 172 -
TABLEAU 15. HIERARCHISATION DES FACTEURS D'EVOLUTION DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES ... - 175 -
TABLEAU 16. TABLEAU DE SYNTHESE DE LA QUANTIFICATION DU POIDS DES FACTEURS EXPLICATIFS DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES SOLS A L'ECHELLE COMMUNALE ... - 177 -
TABLEAU 17. ASSOLEMENTS MOYENS DES SYSTEMES DE PRODUCTION RECENSES SUR LES SITES D'ETUDES A PARTIR DES ENQUETES TERRAIN ET DES DONNEES CARTOGRAPHIQUES ... - 184 -
TABLEAU 18. EVOLUTION DES ASSOLEMENTS EN FONCTION DES STRATEGIES CONTRASTEES D'ADAPTATION DES EXPLOITANTS A LA REFORME DE LA PAC 2006 ... - 203 -
TABLEAU 19. EVOLUTION DU PAYSAGE DES EXPLOITATIONS AGRICOLES D'APRES L'AGRANDISSEMENT ESTIME : UNE ACCENTUATION DE LA SPECIALISATION LAITIERE DE LA REGION DU HAUT-BLAVET CONFORME AUX PROJECTIONS ... - 204 -
TABLEAU 20. MATRICE DE CONSTRUCTION DES SCENARIOS NORMATIFS ... - 209 -
TABLEAU 21. COEFFICIENTS DE RUISSELLEMENT EMPLOYES DANS RUICELLS POUR EVALUER L'IMPACT DES CHANGEMENTS DES MODES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS SUR LES FLUX D'EAU THEORIQUES ... - 214 -
TABLEAU 22. TABLEAU COMPARATIF DES PLATEFORMES DE MODELISATION ET LEUR MANIERE DE CONSIDERER LE PAYSAGE ET DE GERER SA SIMULATION ... - 219 -
TABLEAU 23. TABLEAU DE SYNTHESE DES ACTIONS DEVELOPPEES POUR SIMULER DE FAÇON DYNAMIQUE L'EVOLUTION D'UN PAYSAGE AGRICOLE BOCAGER ... - 222 -
TABLEAU 24. EVOLUTION DES ASSOLEMENTS PAR SYSTEME DE PRODUCTION ENTRE 1981 ET 1998 SUR LE LESTOLET ... - 227 -
TABLEAU 25. TABLEAU DE SYNTHESE DES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES REALISES ... - 240 -
TABLEAU 26. EVOLUTION DES SUPERFICIES (EN HA) DES TYPES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS AU SEIN DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 SUR LE LESTOLET ENTRE 1998 ET 2020 ... - 247 -
TABLEAU 27. EVOLUTION DES SUPERFICIES (EN HA) DES TYPES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS AU SEIN DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 SUR LE COËT-DAN ENTRE 1999 ET 2020 ... - 253 -
TABLEAU 28. EVOLUTION DES SUPERFICIES (EN HA) DES TYPES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS AU SEIN DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 SUR LE STANG VARRIC ENTRE 1999 ET 2020 ... - 258 -
TABLEAU 29. EVOLUTION DES SUPERFICIES (EN HA) DES TYPES D'OCCUPATION DES SOLS AU SEIN DES ZONES HUMIDES DE FONDS DE VALLEES POUR LES SCENARIOS 1, 2 ET 3 SUR LE LESTOLET ENTRE 1998 ET 2020 ... - 264 -
TABLEAU 30. EVOLUTION DES PROPORTIONS DES PRINCIPALES CLASSES D'OCCUPATION DES SOLS SUR TROIS PERIODES ENTRE 1998 ET 2020 SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET POUR LES SCENARIOS 5, 7 ET 8 ... - 271 -
TABLEAU 31. EVOLUTION DE LA QUALITE DE L'EAU ET DES MILIEUX AQUATIQUES ENTRE 1981 ET 2027 POUR LES SCENARIOS A, B ET C SUR LE BASSIN VERSANT DU LESTOLET ... - 301 -
TABLEAU 32. EVALUATION DES MODES DE RESTITUTION DES SCENARIOS PROSPECTIFS EXPLORATOIRES ... - 306 -
TABLEAU 33. EVALUATION DE L'APPORT DES SCENARIOS PROSPECTIFS EXPLORATOIRES ... - 306 -
TABLEAU 34. EVALUATION DES MODES DE RESTITUTION DES SCENARIOS PROSPECTIFS NORMATIFS ... - 307 -
TABLEAU 35. EVALUATION DE L'APPORT DES SCENARIOS PROSPECTIFS EXPLORATOIRES ... - 308 -
TABLEAU 36. EVALUATION DE L'APPORT DES SCENARIOS SUIVANT PLUSIEURS PROPOSITIONS ... - 309 -

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENTS ..... **- 7 -**

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES ..... **- 9 -**

SOMMAIRE ..... **- 11 -**

INTRODUCTION GENERALE ..... **- 13 -**

PARTIE 1 MODELISATION PROSPECTIVE DE L'OCCUPATION ET L'UTILISATION DES SOLS DANS DES PAYSAGES AGRICOLES FRAGMENTES : ENJEUX ET METHODOLOGIE ..... **- 21 -**

INTRODUCTION ..... **- 23 -**

CHAPITRE 1 - EVOLUTION DES PAYSAGES AGRICOLES BOCAGERS ET SON IMPACT SUR LA QUALITE DE L'EAU : DES ENJEUX DIFFERENTS SELON LES ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES CONSIDEREES ..... **- 25 -**

1.1. MUTATIONS AGRICOLES ET PAYSAGERES PASSEES ET IMPACTS SUR L'ENVIRONNEMENT : L'EXEMPLE DE LA BRETAGNE ..... - 26 -

1.1.1. L'évolution des usages des terres et des paysages agricoles bocagers ..... *- 26 -*

1.1.1.1. Les changements historiques ..... - 26 -

1.1.1.2. Des changements récents majeurs à l'échelle régionale : « de la ferme à la firme » ..... - 27 -

1.1.1.3. … mais aux rythmes et aux intensités variables localement ..... - 29 -

1.1.2. Dégradation de la qualité de l'eau et changements des paysages agricoles bocagers : la nécessaire prise en compte de l'échelle locale ..... *- 31 -*

1.1.2.1. La dégradation de la qualité de l'eau et des milieux aquatiques ..... - 32 -

1.1.2.1.1. De l'augmentation des flux polluants… ..... - 32 -

1.1.2.1.2. … à l'eutrophisation des eaux littorales et continentales ..... - 34 -

1.1.2.2. Utilisations des sols : des pratiques diverses… ..... - 35 -

1.1.2.2.1. Des sols nus en hiver ..... - 35 -

1.1.2.2.2. Des pratiques de fertilisations variables ..... - 35 -

1.1.2.3. Le rôle du bocage sur les transferts de flux ..... - 36 -

1.1.2.3.1. Le rôle sur les transferts de surface ..... - 36 -

1.1.2.3.2. Le rôle sur les transferts de sub-surface ..... - 37 -

1.1.2.3.3. Le rôle tampon du réseau bocager ..... - 38 -

1.1.2.4. Les fonctions des zones humides de fonds de vallées ..... - 38 -

1.1.2.4.1. De multiples fonctions ..... - 38 -

1.1.2.4.2. Des zones humides potentielles, effectives et efficaces … ..... - 39 -

1.1.2.4.3. … aux fonctionnalités épuratrices améliorables localement ..... - 40 -

1.2. UNE GESTION DE L'EAU A DIFFERENTES ECHELLES SPATIO-TEMPORELLES ..... - 41 -

1.2.1. Gestionnaires de l'eau et des programmes d'actions : des niveaux de gestion emboîtés et recouvrants ..... *- 41 -*

1.2.1.1. Une superposition de textes réglementaires ..... - 41 -

1.2.1.2. De multiples acteurs ..... - 43 -

1.2.1.3. Une pléthore de programmes aux contraintes variables ..... - 44 -

1.2.2. Les programmes de gestion durable de l'eau basés sur le volontariat ..... *- 45 -*

1.2.2.1. Les contrats de rivières ..... - 45 -

1.2.2.2. Les contrats de baies ..... - 45 -

1.2.2.3. Le programme Bretagne eau Pure ..... - 45 -

1.2.3. Les SAGE : la prise en compte du long terme et le volet prospectif ..... *- 47 -*

1.3. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 48 -

CHAPITRE 2 - PROSPECTIVE DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DES SOLS : APPROCHES METHODOLOGIQUES DE CONSTRUCTION DE SCENARIOS ..... **- 49 -**

2.1. PROSPECTIVES POUR L'ENVIRONNEMENT : DES PREMICES A LA PRATIQUE ..... - 49 -

2.1.1. De l'émergence d'une discipline… ..... *- 49 -*

2.1.1.1. La pensée anticipatrice, prélude de la prospective ..... - 49 -
2.1.1.2. La naissance de la prospective ..... - 49 -
2.1.1.3. L'émergence de la prospective en France ..... - 50 -
2.1.2. … à la généralisation de l'utilisation de la prospective ..... - 51 -
2.1.2.1. Le rôle catalyseur des administrations et des organismes scientifiques à vocation internationale..... - 51 -
2.1.2.2. L'utilisation des modèles ..... - 52 -
2.1.2.3. L'explosion des problématiques environnementales ..... - 52 -
2.2. LES PROSPECTIVES DE L'OCCUPATION ET DE L'UTILISATION DES SOLS ..... - 53 -
2.2.1. Des domaines d'application variés ..... - 53 -
2.2.2. La place de l'occupation et de l'utilisation du sols dans les recherches prospectives ..... - 56 -
2.2.2.1. D'une simple variable contextuelle à une composante stratégique ..... - 56 -
2.2.2.2. Quelles échelles pour quelles prospectives ? ..... - 56 -
2.2.2.3. Dans le cas de la gestion de l'eau : la nécessaire prise en compte de l'échelle locale ..... - 57 -
2.3. LA DEMARCHE METHODOLOGIQUE DES SCENARIOS EN PROSPECTIVE ..... - 57 -
2.3.1. « La méthode des scénarios » : de la « base » aux futuribles ..... - 58 -
2.3.1.1. L'élaboration de « la base » ..... - 58 -
2.3.1.1.1. La définition du système ..... - 58 -
2.3.1.1.2. La dynamique du système ..... - 58 -
2.3.1.2. La construction des scénarios ..... - 58 -
2.3.1.2.1. Des hypothèses variées ..... - 59 -
2.3.1.2.2. *Images* et *cheminements* ..... - 59 -
2.3.1.2.3. Des hypothèses aux projections ..... - 59 -
2.3.2. Typologie des scénarios ..... - 60 -
2.3.2.1. Scénarios « exploratoires » versus scénarios « normatifs » ..... - 60 -
2.3.2.2. Scénarios « tendanciels » versus scénarios « contrastés » ..... - 61 -
2.3.2.3. Scénario de référence et variantes ..... - 62 -
2.3.3. La question de l'évaluation des scénarios prospectifs ..... - 62 -
2.3.3.1. Comment évaluer un exercice prospectif ? ..... - 62 -
2.3.3.2. L'apport de la rétroprospective ..... - 62 -
2.3.3.3. L'évaluation des scénarios : valider la démarche de construction et non les résultats des scénarios prospectifs ..... - 62 -
2.4. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 63 -

CHAPITRE 3 - SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES : DE LA REPRESENTATION A LA MODELISATION DE LA COMPLEXITE ..... - 65 -

3.1. LA MODELISATION DE LA COMPLEXITE : ENTRE PARADIGME DE LA PROSPECTIVE ET OBJET DE RECHERCHES EN GEOGRAPHIE ..... - 65 -
3.1.1. La complexité : la raison d'être de la prospective ..... - 65 -
3.1.2. Les changements d'occupation et d'utilisation des sols : des processus complexes ..... - 66 -
3.1.2.1. Des types de changements variés et aux causes multiples ..... - 66 -
3.1.2.2. Des changements multi-scalaires ..... - 67 -
3.1.3. La modélisation de systèmes complexes : concepts et définitions ..... - 68 -
3.1.3.1. La dimension spatiale de la complexité ..... - 68 -
3.1.3.2. La dimension temporelle de la complexité ..... - 68 -
3.1.3.3. La dimension des "décisions humaines" de la complexité ..... - 69 -
3.2. MODELISATIONS DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS ..... - 70 -
3.2.1. La représentation spatiale des états successifs d'un système complexe ..... - 71 -
3.2.1.1. Les chorèmes ..... - 71 -
3.2.1.2. Les Systèmes d'Information Géographique ..... - 71 -
3.2.1.3. La conception de vues paysagères ..... - 72 -
3.2.2. L'approche systémique : la représentation du fonctionnement d'un système complexe ..... - 73 -
3.2.3. La modélisation dynamique de systèmes complexes ..... - 73 -
3.2.3.1. Les types de modèles dynamiques existants ..... - 73 -
3.2.3.1.1. Les modèles mécanistes ..... - 74 -
3.2.3.1.2. Les modèles empiriques ..... - 74 -
3.2.3.1.3. Les modèles statistiques ..... - 74 -
3.2.3.1.4. Les modèles téléonomiques ..... - 74 -
3.2.3.1.5. Les modèles hybrides ..... - 75 -
3.2.3.1.6. Les plateformes de modélisation ..... - 75 -
3.2.3.2. Les modèles dynamiques et spatialement explicites ..... - 76 -
3.2.3.2.1. Les automates cellulaires ..... - 76 -
3.2.3.2.2. Les systèmes multi-agents ..... - 78 -
3.2.3.2.3. Les réseaux neuronaux ..... - 80 -

3.3. L'APPROCHE METHODOLOGIQUE DE CONSTRUCTION DE SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES . - 82 -
3.3.1. Le choix des sites d'étude - 83 -
3.3.2. La construction de la « base » - 83 -
3.3.2.1. La détermination des trajectoires d'évolution - 83 -
3.3.2.2. L'identification et la hiérarchisation des facteurs de changements - 84 -
3.3.3. L'élaboration de scénarios prospectifs spatialisés - 85 -
3.3.3.1. La définition de scénarios prospectifs - 85 -
3.3.3.2. La spatialisation des scénarios prospectifs - 85 -
3.3.4. L'évaluation des scénarios prospectifs et de leurs impacts - 85 -
3.4. CONCLUSION PARTIELLE - 86 -

CONCLUSION - 87 -

PARTIE 2 LE BLAVET ET LA CONSTRUCTION DE LA « BASE » DES SCENARIOS : DETERMINATION DES TRAJECTOIRES ET PROCESSUS D'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES A L'ECHELLE LOCALE - 89 -

INTRODUCTION - 91 -

CHAPITRE 4 - LE CONTEXTE DU BLAVET ET PRESENTATION DES SITES D'ETUDES - 93 -

4.1. LE BASSIN VERSANT DU BLAVET ET LA MISE EN PLACE DU SAGE - 93 -
4.1.1. Le bassin versant du Blavet : une faible cohérence territoriale - 93 -
4.1.1.1. Une utilisation du sol essentiellement agricole… - 94 -
4.1.1.2. … aux disparités internes - 96 -
4.1.1.2.1. L'amont à l'image de la Bretagne Centrale - 96 -
4.1.1.2.2. La zone médiane : l'opposition Bassin de « Pontivy-Loudéac » et Centre Bretagne - 96 -
4.1.1.2.3. La zone aval : le bassin lorientais - 98 -
4.1.1.3. Une qualité de l'eau variable au sein du bassin versant - 98 -
4.1.1.3.1. Les nitrates - 98 -
4.1.1.3.2. Le phosphore - 98 -
4.1.1.3.3. Les pesticides - 100 -
4.1.2. Un SAGE pour le Blavet - 101 -
4.2. LES SITES D'ETUDE - 102 -
4.2.1. Le bassin versant du Lestolet - 104 -
4.2.2. Le bassin versant du Coët-Dan - 106 -
4.2.3. Le bassin versant du Stang Varric - 107 -
4.3. CONCLUSION PARTIELLE - 109 -

CHAPITRE 5 - RECONSTITUTION DES TRAJECTOIRES D'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES - 111 -

5.1. METHODOLOGIE - 111 -
5.1.1. Les descripteurs - 111 -
5.1.1.1. Descripteurs de l'évolution des structures paysagères - 111 -
5.1.1.2. Descripteurs des successions des modes d'occupation et d'utilisation des sols - 112 -
5.1.2. Les données - 112 -
5.1.2.1. Les données de télédétection - 112 -
5.1.2.1.1. Les photographies aériennes - 113 -
5.1.2.1.2. Les images satellitaires - 114 -
5.1.2.2. Les données auxiliaires - 115 -
5.1.2.2.1. Les couches d'information géographiques - 115 -
5.1.2.2.2. Les contrôles terrain - 115 -
5.1.3. Le traitement des données - 116 -
5.1.3.1. La série de photographies aériennes - 116 -
5.1.3.2. La série d'images satellitaires - 117 -
5.1.3.3. Le traitement statistique des données - 118 -
5.1.3.3.1. Calcul de ratios - 118 -
5.1.3.3.2. Calcul des matrices de transition - 118 -
5.2. RESULTATS - 119 -
5.2.1. L'évolution de la structure bocagère - 119 -
5.2.1.1. L'évolution du bocage entre 1952 et 1999 - 119 -
5.2.1.2. L'évolution des haies ayant un impact sur les transferts de flux entre 1952 et 1999 - 120 -

5.2.2. L'évolution des zones humides de fonds de vallées ..... *- 125 -*
5.2.2.1. L'évolution de la présence de zones humides de fonds de vallées entre 1952 et 1999 ..... - 125 -
5.2.2.2. L'évolution des descripteurs des zones humides de fonds de vallées liés aux transferts de flux polluants entre 1952 et 1999 ..... - 126 -
5.2.2.2.1. La longueur de contact zone humide/zone drainée ..... - 126 -
5.2.2.2.2. L'indice de compacité et le niveau de fragmentation ..... - 127 -
5.2.3. L'évolution des modes d'occupation et d'utilisation des sols ..... *- 128 -*
5.2.3.1. Les trajectoires longues sur la période 1952-1999 ..... - 128 -
5.2.3.1.1. Un agrandissement constant des parcelles agricoles ..... - 128 -
5.2.3.1.2. L'évolution des classes d'occupation des sols entre 1952 et 1999 ..... - 129 -
5.2.3.1.3. L'évolution des classes d'occupation des sols dans les zones humides de fonds de vallées ..... - 138 -
5.2.3.2. Les trajectoires courtes sur la période 1996- 2002 ..... - 138 -
5.2.3.2.1. L'évolution des sols nus à peu couverts ..... - 139 -
5.2.3.2.2. L'évolution du ratio cultures/SH ..... - 141 -
5.3. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 141 -

CHAPITRE 6 - LES FACTEURS EXPLICATIFS DES CHANGEMENTS D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES ..... - 143 -

6.1. METHODOLOGIE ..... - 143 -
6.1.1. L'identification des facteurs de changements ..... *- 143 -*
6.1.1.1. La réflexion participative ..... - 143 -
6.1.1.2. Les entretiens ..... - 144 -
6.1.1.3. L'analyse systémique ..... - 144 -
6.1.2. La spatialisation et la validation des facteurs de changements ..... *- 144 -*
6.1.2.1. Le recensement des données disponibles ..... - 144 -
6.1.2.2. Les descripteurs ..... - 144 -
6.1.2.3. La validation des facteurs ..... - 145 -
6.1.3. La hiérarchisation des facteurs de changements ..... *- 145 -*
6.1.3.1. Approche qualitative ..... - 145 -
6.1.3.2. Approche quantitative ..... - 145 -
6.2. RESULTATS ..... - 146 -
6.2.1. Les facteurs de changements passés et actuels ..... *- 146 -*
6.2.1.1. L'inventaire des facteurs des changements ..... - 146 -
6.2.1.1.1. Les facteurs de changements du réseau bocager ..... - 147 -
6.2.1.1.2. Les facteurs de changements des zones humides ..... - 148 -
6.2.1.1.3. Les facteurs de changements de l'occupation du sol ..... - 149 -
6.2.1.2. L'analyse des facteurs de changement à travers l'analyse systémique ..... - 151 -
6.2.1.2.1. La période 1968/70 - 1982/83 ..... - 152 -
6.2.1.2.2. La période 1982/83 – 1992 ..... - 153 -
6.2.1.2.3. La période 1992 à aujourd'hui ..... - 154 -
6.2.2. La représentation spatiale et la validation des facteurs de changement ..... *- 156 -*
6.2.2.1. Les descripteurs utilisés ..... - 156 -
6.2.2.2. Cartographie et validation des facteurs de changements ..... - 156 -
6.2.2.2.1. Les facteurs d'évolution des modes d'occupation des sols spatialisés à l'échelle communale ..... - 156 -
6.2.2.2.2. Les facteurs d'évolution des modes d'occupation des sols spatialisés à l'échelle parcellaire ..... - 163 -
6.2.2.2.3. Les facteurs d'évolution du bocage ..... - 165 -
6.2.2.2.4. Les facteurs d'évolution des zones humides de fonds de vallées ..... - 167 -
6.2.3. La hiérarchisation des facteurs ..... *- 168 -*
6.2.3.1. Approche qualitative ..... - 169 -
6.2.3.1.1. Analyse comparée du poids des facteurs dans l'évolution des modes d'occupation des sols ..... - 169 -
6.2.3.1.2. Analyse comparée du poids des facteurs dans l'évolution du bocage ..... - 172 -
6.2.3.1.3. Analyse comparée du poids des facteurs dans l'évolution des zones humides de fonds de vallées ..... - 174 -
6.2.3.2. Approche quantitative ..... - 176 -
6.3. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 178 -

CHAPITRE 7 - L'EVOLUTION D'UN PAYSAGE AGRICOLE BOCAGER : REPRESENTATION SYSTEMIQUE ET ENJEUX PROSPECTIFS VIS-A-VIS DE LA QUALITE DE L'EAU ..... - 179 -

7.1. LA REPRESENTATION SYSTEMIQUE DE L'EVOLUTION D'UN PAYSAGE AGRICOLE BOCAGER ..... - 179 -
7.1.1. Le système « Paysage agricole bocager » ..... *- 179 -*

7.1.2. A l'échelle de l'utilisation du territoire : l'exploitation agricole, niveau clef de l'évolution du paysage ..... *- 180 -*
7.1.3. Aux échelles de la gestion territoriale (commune, bassin, Région) ..... *- 180 -*
7.1.4. Aux échelles globales des régulations (Etat, International) ..... *- 181 -*
7.2. LES PROCESSUS D'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES ..... - 183 -
7.2.1. Méthodologie ..... *- 183 -*
7.2.2. Les processus d'évolution des modes d'occupation/d'utilisation des sols ..... *- 183 -*
7.2.2.1. L'assolement à l'échelle de l'exploitation ..... - 183 -
7.2.2.2. Les rotations culturales ..... - 185 -
7.2.3. Les processus d'évolution des zones humides de fonds de vallées ..... *- 185 -*
7.2.3.1. Extension / régression spatiale des zones humides ..... - 185 -
7.2.3.2. Les changements des types d'occupation des sols au sein des zones humides ..... - 186 -
7.2.4. Les processus d'évolution de la structure bocagère ..... *- 186 -*
7.2.4.1. Les arasements de haies ..... - 186 -
7.2.4.2. La création de haies ..... - 187 -
7.2.5. Les processus d'évolution des structures foncières ..... *- 187 -*
7.2.5.1. L'évolution de la taille du parcellaire ..... - 187 -
7.2.5.2. L'évolution des structures spatiales des exploitations agricoles ..... - 187 -
7.3. DETERMINATION DES TENDANCES FUTURES ET GERMES DE CHANGEMENTS ..... - 188 -
7.3.1. Un cadre de conformité : les tendances sub-régionales, régionales et globales ..... *- 188 -*
7.3.1.1. La démographie bretonne ..... - 188 -
7.3.1.2. L'agriculture bretonne ..... - 189 -
7.3.1.3. Les politiques régionales ..... - 190 -
7.3.1.4. La question des changements climatiques ..... - 190 -
7.3.1.5. Les nouvelles contraintes environnementales : la DCE et les SAGE ..... - 191 -
7.3.2. Les problématiques prospectives à l'échelle locale ..... *- 191 -*
7.3.2.1. Sur le plan de la sociologie et de la démographie ..... - 191 -
7.3.2.2. Sur le plan réglementaire ..... - 191 -
7.4. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 191 -
CONCLUSION ..... **- 193 -**

PARTIE 3 CONSTRUCTION DE SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES DE L'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET DES STRUCTURES PAYSAGERES A L'ECHELLE LOCALE : METHODOLOGIE ..... **- 195 -**

INTRODUCTION ..... **- 197 -**

CHAPITRE 8 - LES SCENARIOS PROSPECTIFS : ENJEUX, HYPOTHESES DE CONSTRUCTION ET EVALUATIONS ..... **- 199 -**

8.1. LES ENJEUX DES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES ..... - 199 -
8.1.1. Définir et évaluer l'impact d'un facteur de changement ..... *- 199 -*
8.1.2. Tenter de « délimiter » la gamme des futurs possibles ..... *- 200 -*
8.2. LES SCENARIOS PROSPECTIFS EXPLORATOIRES / NORMATIFS : HYPOTHESES DE CONSTRUCTION - 200 -
8.2.1. Les hypothèses retenues pour la construction des scénarios prospectifs exploratoires ... *- 201 -*
8.2.1.1. L'horizon temporel 2020 ..... - 201 -
8.2.1.2. Hypothèses de l'influence de la réforme de la PAC 2006 sur les modes d'occupation des sols - 201 -
8.2.1.2.1. La réforme de la PAC ..... - 201 -
8.2.1.2.2. Les stratégies contrastées d'adaptation des exploitants et les incidences sur les modes d'occupation et d'utilisation des sols ..... - 202 -
8.2.1.2.3. Les évolutions contrastées des assolements liés à la PAC 2006 ..... - 203 -
8.2.1.3. Hypothèses sur l'agrandissement des exploitations agricoles ..... - 204 -
8.2.1.4. Hypothèses sur les changements de la structure du parcellaire et des structures paysagères ..... - 206 -
8.2.2. Les hypothèses retenues pour la construction des scénarios prospectifs normatifs ..... *- 206 -*
8.2.2.1. L'horizon temporel 2027 ..... - 207 -
8.2.2.2. Les hypothèses contrastées des zones humides de fonds de vallées ..... - 207 -
8.2.2.3. Les hypothèses contrastées du bocage ..... - 208 -
8.2.2.4. Les hypothèses contrastées des modes d'occupation et d'utilisation des sols ..... - 208 -
8.2.2.5. Le croisement des hypothèses contrastées ..... - 209 -
8.3. DES DESCRIPTEURS D'EVALUATION DES SCENARIOS PROSPECTIFS ..... - 210 -

8.3.1. Les descripteurs des changements d'occupation et d'utilisation des sols et des structures paysagères ..... *- 210 -*
8.3.2. Des descripteurs de risque mesurant l'impact potentiel d'un scénario ..... *- 210 -*
8.3.2.1. Les descripteurs de risque liés à la culture du maïs ..... - 210 -
8.3.2.1.1. Les surfaces cumulées en maïs par classe de distance au cours d'eau ..... - 211 -
8.3.2.1.2. La fréquence de retour en maïs ..... - 211 -
8.3.2.2. L'utilisation de modèles distribués ..... - 211 -
8.3.2.2.1. L'évaluation du rôle tampon du paysage sur les flux de sub-surface : l'utilisation du modèle « Landbuf » ..... - 211 -
8.3.2.2.2. L'identification des zones contributives aux transferts de flux de surface : l'utilisation du modèle Odissés ..... - 212 -
8.3.2.2.3. La détermination de l'influence des types d'occupation des sols sur les flux d'eau : l'utilisation du modèle Ruicells ..... - 213 -
8.3.2.3. L'estimation d'indicateurs environnementaux ..... - 214 -
8.4. LA DEMARCHE D'EVALUATION DE L'APPORT DES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES POUR LES GESTIONNAIRES DE L'EAU ET LES ACTEURS LOCAUX ..... - 214 -
8.5. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 215 -

CHAPITRE 9 - LA SPATIALISATION DES SCENARIOS PROSPECTIFS ..... - 217 -

9.1. SPATIALISATION DES SCENARIOS EXPLORATOIRES : LE CHOIX D'UNE PLATEFORME DE MODELISATION DYNAMIQUE ET SPATIALEMENT EXPLICITE (L1) ..... - 217 -
9.1.1. Analyse comparative des modèles et plateformes existants pour la simulation des modes d'occupation des sols et des structures paysagères à l'échelle locale ..... *- 217 -*
9.1.1.1. Quels sont les besoins ? ..... - 218 -
9.1.1.2. Le choix de la plateforme L1 ..... - 218 -
9.1.1.3. Les principes de fonctionnement de la plateforme L1 ..... - 219 -
9.1.1.4. Le fonctionnement du module de simulation de paysages agricoles bocagers ..... - 220 -
9.1.1.4.1. Les données d'entrée ..... - 220 -
9.1.1.4.2. Les processus modélisés et les actions développées ..... - 221 -
9.1.1.4.3. Le fonctionnement dynamique du module « Paysage agricole bocager » ..... - 223 -
9.1.1.4.4. Les types de sorties ..... - 224 -
9.1.2. La validation de la plateforme de modélisation du paysage L1 ..... *- 224 -*
9.1.2.1. Tests de sensibilité : une simulation réaliste des processus d'évolution d'un paysage agricole bocager ..... - 224 -
9.1.2.2. Evaluation d'une simulation effectuée sur une période passée ..... - 226 -
9.1.2.2.1. Rappel des changements observés sur le Lestolet entre 1981 et 1998 ..... - 226 -
9.1.2.2.2. L'évolution simulée du paysage entre 1981 et 1998 ..... - 227 -
9.1.2.2.3. La comparaison « paysage simulé / paysage réel » en 1998 ..... - 228 -
9.1.3. L'amélioration de la simulation des successions culturales avec L1 ..... *- 231 -*
9.2. SPATIALISATION DES SCENARIOS NORMATIFS : L'UTILISATION DES SIG ..... - 233 -
9.3. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 233 -
CONCLUSION ..... - 235 -

PARTIE 4 LES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES, LEURS IMPACTS ET LEURS APPORTS ..... - 237 -

INTRODUCTION ..... - 239 -

CHAPITRE 10 - LES SCENARIOS PROSPECTIFS EXPLORATOIRES SPATIALISES A L'ECHELLE LOCALE ..... - 241 -

10.1. LES RECITS DES SCENARIOS PROSPECTIFS EXPLORATOIRES ..... - 241 -
10.1.1. La réforme de la PAC de 2006 : trois scénarios possibles ..... *- 241 -*
10.1.1.1. Le scénario 1 ou le scénario « business as usual » ..... - 241 -
10.1.1.2. Le scénario 2 : la PAC favorable à l'herbe ..... - 242 -
10.1.1.3. Le scénario 3 : la PAC favorable aux cultures ..... - 242 -
10.1.2. L'agrandissement des exploitations agricoles : un scénario pour chaque stratégie d'adaptation à la réforme de la PAC de 2006 ..... *- 242 -*
10.1.2.1. Le scénario 4 : la stratégie « business as usual » et l'agrandissement des exploitations ..... - 242 -
10.1.2.2. Le scénario 5 : la PAC favorable à l'herbe et l'agrandissement des exploitations ..... - 242 -
10.1.2.3. Le scénario 6 : la PAC favorable aux cultures et l'agrandissement des exploitations ..... - 243 -
10.1.3. Les changements de la structure spatiale du parcellaire : un scénario de référence et deux variantes ..... *- 243 -*
10.1.3.1. Le scénario 7 : la PAC favorable à l'herbe, l'agrandissement des exploitations et du parcellaire agricole ..... - 243 -

10.1.3.2. Le scénario 8 : la PAC favorable à l'herbe, l'agrandissement des exploitations et du parcellaire agricole et la restauration des haies de ceinture par les gestionnaires de l'eau ..... - 244 -
10.2. LA REFORME DE LA PAC DE 2006 : INFLUENCE SUR L'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION/D'UTILISATION DES SOLS ET IMPACTS POTENTIELS SUR LES RESSOURCES EN EAU ..... - 244 -
10.2.1. Résultats sur le bassin versant du Lestolet ..... - 244 -
10.2.1.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols ..... - 244 -
10.2.1.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides .. - 247 -
10.2.1.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs ..... - 247 -
10.2.1.4. L'impact des scénarios sur la distribution spatiale du maïs par rapport au cours d'eau ..... - 249 -
10.2.2. Résultats sur le bassin versant du Coët-Dan ..... - 250 -
10.2.2.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols ..... - 250 -
10.2.2.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides .. - 253 -
10.2.2.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs ..... - 253 -
10.2.2.4. L'impact des scénarios sur la distribution spatiale du maïs par rapport au cours d'eau ..... - 255 -
10.2.3. Résultats sur le bassin versant du Stang Varric ..... - 256 -
10.2.3.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols ..... - 256 -
10.2.3.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides .. - 258 -
10.2.3.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs ..... - 258 -
10.2.3.4. L'impact sur la distribution spatiale du maïs par rapport au cours d'eau ..... - 260 -
10.2.4. Synthèse de l'influence de la PAC 2006 sur l'évolution des modes d'occupation des sols ..... - 261 -
10.3. L'AGRANDISSEMENT DES EXPLOITATIONS AGRICOLES : INFLUENCE SUR L'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION DES SOLS ET IMPACTS POTENTIELS SUR LES RESSOURCES EN EAU ..... - 261 -
10.3.1. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols ..... - 262 -
10.3.2. L'impact des scénarios sur l'évolution de l'occupation des sols au sein des zones humides ..... - 264 -
10.3.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs ..... - 264 -
10.3.4. L'impact sur l'allocation spatiale du maïs par rapport au cours d'eau ..... - 267 -
10.3.5. Synthèse de l'influence de l'agrandissement des exploitations agricoles sur l'évolution des modes d'occupation des sols ..... - 267 -
10.4. LES CHANGEMENTS DE LA STRUCTURE SPATIALE DU PARCELLAIRE : INFLUENCE SUR L'EVOLUTION DES MODES D'OCCUPATION ET D'UTILISATION DES SOLS ET IMPACTS POTENTIELS SUR LES TRANSFERTS DE FLUX ..... - 268 -
10.4.1. L'évolution de la structure foncière ..... - 269 -
10.4.1.1. L'évolution de la taille moyenne des parcelles ..... - 269 -
10.4.1.2. L'évolution de la densité bocagère ..... - 269 -
10.4.2. L'évolution quantifiée et spatialisée des modes d'occupation des sols ..... - 270 -
10.4.3. L'impact des scénarios sur la fréquence de retour des parcelles en maïs ..... - 271 -
10.4.4. L'impact sur le rôle tampon du paysage ..... - 273 -
10.4.4.1. L'évaluation du rôle tampon vis-à-vis des transfert de flux de surface ..... - 273 -
10.4.4.2. L'évaluation du rôle tampon vis-à-vis des transfert de flux de sub-surface ..... - 275 -
10.4.5. Synthèse de l'influence des changements de la structure spatiale du parcellaire ..... - 277 -
10.5. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 278 -

CHAPITRE 11 - LES SCENARIOS PROSPECTIFS NORMATIFS SPATIALISES A L'ECHELLE LOCALE ..... - 281 -

11.1. LES SCENARIOS PROSPECTIFS NORMATIFS SPATIALISES ..... - 282 -
11.1.1. L'image du Lestolet en 2005 ..... - 282 -
11.1.2. Le scénario A : « Gestion fonctionnelle et durable du Lestolet par les agriculteurs et les gestionnaires de l'eau » ..... - 284 -
11.1.2.1. La période 2005-2014 : Le volontarisme au service du développement durable ..... - 284 -
11.1.2.2. L'image du Lestolet en 2014 : un bassin versant extensif, aux zones humides en voie de réouverture et au bocage restauré et préservé ..... - 286 -
11.1.2.3. La période 2014-2027 : Un développement territorial durable et efficient ..... - 287 -
11.1.2.4. L'image du Lestolet en 2027 : le « tout herbe » ..... - 288 -
11.1.3. Le scénario B : « L'intensification de l'agriculture et la gestion minimale des structures paysagères : de la problématique "Nitrate" à la problématique "Nitrate-Phosphore-Biodiversité" » ..... - 289 -
11.1.3.1. La période 2005-2014 : Le "modèle agricole breton" malmené ..... - 289 -
11.1.3.2. L'image du Lestolet en 2014 : des plateaux ouverts massivement cultivés et des zones humides fermées en cours de boisement ..... - 290 -
11.1.3.3. La période 2014-2027 : De la firme agricole à la firme agro-énergétique ..... - 291 -

11.1.3.4. L'image du Lestolet en 2027 : omniprésence des bois dans les fonds de vallées et des OGM sur les versants parsemés de haies résiduelles ..... - 292 -
11.1.4. Le scénario C : « Le Lestolet un espace privatisé à vocation non agricole » ..... - 293 -
11.1.4.1. La période 2005-2014 : Le "modèle agricole breton" mal mené ..... - 293 -
11.1.4.2. L'image du Lestolet en 2014 : des plateaux ouverts massivement cultivées et des zones humides fermées en cours de boisement ..... - 293 -
11.1.4.3. La période 2014-2027 : Le divorce entre le «modèle agricole breton » et l'utilisation du sol. - 293 -
11.1.4.4. L'image du Lestolet en 2027 : la généralisation des « jachères en herbe », un bocage et des fonds de vallées de nouveau entretenus ..... - 295 -
11.1.5. Synthèse des scénarios normatifs ..... - 296 -
11.2. L'EVALUATION DE L'IMPACT DES SCENARIOS NORMATIFS SPATIALISEES ..... - 296 -
11.2.1. Les changements futurs possibles ..... - 296 -
11.2.1.1. Les dynamiques futures des modes d'occupation et d'utilisation des sols ..... - 296 -
11.2.1.2. Les dynamiques futures des zones humides de fonds de vallées ..... - 298 -
11.2.1.3. Les dynamiques futures des structures linéaires boisées ..... - 298 -
11.2.2. Les impacts environnementaux ..... - 299 -
11.2.2.1. Sur les flux d'eau théoriques ..... - 299 -
11.2.2.2. Sur la qualité de l'eau et la biodiversité des zones humides ..... - 301 -
11.3. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 302 -

CHAPITRE 12 - APPORTS DES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES POUR LES GESTIONNAIRES DE L'EAU ET LES ACTEURS LOCAUX ..... - 305 -

12.1. L'EVALUATION DES SCENARIOS EXPLORATOIRES ..... - 305 -
12.1.1. L'évaluation des modes de restitution des scénarios exploratoires ..... - 305 -
12.1.2. L'évaluation de l'apport des scénarios exploratoires ..... - 306 -
12.2. L'EVALUATION DES SCENARIOS NORMATIFS ..... - 307 -
12.2.1. L'évaluation des modes de restitution des scénarios normatifs ..... - 307 -
12.2.2. L'évaluation de l'apport des scénarios normatifs ..... - 308 -
12.2.3. L'évaluation de la probabilité d'accomplissement des scénarios normatifs ..... - 308 -
12.3. L'EVALUATION GLOBALE DE L'APPORT DES SCENARIOS PROSPECTIFS SPATIALISES A L'ECHELLE LOCALE ..... - 308 -
12.3.1. La complémentarité des scénarios exploratoires et normatives favorise la prise de conscience des préoccupations de chacun des acteurs ..... - 309 -
12.3.1.1. La dimension spatiale des scénarios prospectifs : un réalisme indispensable à la gestion durable de l'eau ..... - 309 -
12.3.1.2. La finalité des scénarios : la concertation pour mettre en œuvre de futurs moyens de gestion de l'eau ..... - 310 -
12.3.1.3. Les questions soulevées par les scénarios ..... - 310 -
12.4. CONCLUSION PARTIELLE ..... - 311 -
CONCLUSION ..... - 313 -

CONCLUSION GENERALE ..... - 315 -

BIBLIOGRAPHIE ..... - 325 -

ANNEXES ..... - 341 -

LISTE DES FIGURES ..... - 355 -

LISTE DES ENCADRES ..... - 358 -

LISTE DES TABLEAUX ..... - 359 -

TABLE DES MATIERES ..... - 361 -

RESUME

Si, à l'échelle de la planète, les changements manifestes des modes d'usages des terres (déforestation, urbanisation …) ont de lourdes répercussions sur l'environnement, des changements plus subtils à l'échelle locale peuvent également induire des dommages importants. Par exemple, l'évolution des paysages agricoles fragmentés en Bretagne (France) durant les 50 dernières années a provoqué une importante dégradation de la qualité des eaux. Depuis la mise en place de la Directive Cadre Européenne sur l'eau (directive 2000/60/CE), la gestion de l'eau est entrée dans une phase d'obligation de résultats à l'horizon 2015. Pour être efficace, elle nécessite de prendre en compte les changements qui se produisent à l'échelle de la haie ou de la parcelle, où l'eau acquiert ses caractéristiques physico-chimiques. Mais surtout, elle exige d'adopter une vision à moyen et long terme pour s'assurer, en fonction des évolutions futures possibles, de l'efficience et des effets durables des actions en cours et futures. La construction de scénarios prospectifs des modes d'occupation des sols et des structures paysagères à une échelle fine apparaît dès lors comme une démarche appropriée pour éclairer les décisions des gestionnaires de l'eau et des acteurs locaux.

L'objectif de ce travail est de produire une démarche méthodologique générique pour élaborer des scénarios prospectifs spatialisés. Fondée sur la méthode des scénarios en prospective, cette démarche se nourrit des apports méthodologiques utilisés en modélisation de systèmes complexes afin d'apporter une dimension spatiale aux scénarios prospectifs. Articulée avec le volet prospectif du SAGE Blavet, cette démarche a été appliquée à trois petits sous bassins versants représentatifs de la diversité des paysages agricoles bocagers rencontrés à l'échelle du bassin versant du Blavet (2000 km²). Elle s'organise en quatre phases. La première phase vise à construire « la base » des scénarios. La deuxième consiste à construire des scénarios prospectifs pertinents pour éclairer les futurs possibles du territoire étudié. La troisième constitue la phase de spatialisation des scénarios, la méthode appliquée différant selon le type de scénarios : une plateforme de modélisation dynamique et spatialement explicite (L1) a été utilisée et optimisée dans le cas des scénarios exploratoires ; un SIG a servi pour élaborer les scénarios normatifs. Enfin, la dernière phase consiste à évaluer les scénarios prospectifs spatialisés, leurs impacts sur les ressources en eau et leurs apports pour les gestionnaires et les acteurs locaux.

Les scénarios exploratoires produits ont permis de quantifier et de localiser les influences possibles de la nouvelle réforme de la PAC de 2006 et de l'agrandissement des exploitations agricoles sur l'évolution des modes d'usages des sols ainsi que l'influence des changements de la structure spatiale du parcellaire sur les transferts de flux. Les scénarios normatifs ont permis d'identifier les enjeux de gestion de l'eau entre acteurs locaux et gestionnaires. Au final, la localisation de zones à risque vis-à-vis des ressources en eau et l'identification de leviers d'actions (synergies locales, maîtrise du foncier) confèrent aux scénarios prospectifs spatialisés un rôle d'outil d'aide à la gestion pour les gestionnaires de l'eau et les acteurs locaux.

Mots-clés : Modélisation spatiale, prospective, gestion de l'eau, systèmes complexes, simulations dynamiques, scénarios, changement d'occupation et d'utilisation des sols, bocage, zones humides, agriculture.

ABSTRACT

If major land use / landcover changes (deforestation, urbanization…) have induced important environmental damages at the global scale, subtle changes that occur at the local scale may also have dramatic consequences. For example, land cover and landscape feature changes in the agricultural patchy landscape of Brittany (France) over the last 50 years have caused significant water quality degradation. Since the new European water policy (2000/60/EC Directive), water managers must restore a "good ecological state" of water resources for 2015. To be more efficient and provide sustainability, water management policies have to be implemented at a local scale (i.e. hedgerow or field scale), where water acquires its physical and chemical properties, but they must also adopt a long term vision, i.e. considering possible future land use and landcover changes. The production of prospective scenarios of landcover and landscape feature changes at a fine scale may considerably help water managers to realize more effective water policy controls.

The aim of this work is to implement a generic methodology to build spatialized prospective scenarios. Based on the methodology of scenarios, its implementation is to provide a spatial rendering using acquaintances coming from complex system modelling. Intended for helping the elaboration of the Water Management Plan of the Blavet watershed (2000 km²), its application is made on three smaller watersheds representative of the Blavet landscape diversity. This generic methodology is organized in four phases. The first phase is to build the "base" of the scenarios. The second consists in making adapted scenarios to explore possible future states of the study sites. The third is to spatialize the prospective scenarios. Considering the different scenarios, differentiated methods were used: a modelling platform (L1) that produces dynamic and spatially explicit simulations is used and optimized for exploratory scenarios; GIS have been employed for normative scenarios. Phase four evaluates the spatialized prospective scenarios: their impacts on water resources and their contribution to water managers and local decision-makers.

The exploratory scenarios have quantified and localized the possible influence on landcover changes based on the new policy reform of the European Common Agricultural Policy to be implemented in 2006 and of the current trend in farm enlargement in the region, and also the influence of fields' structure changes on water fluxes. Normative scenarios have identified future stakes of water management. Localization of at-risk areas towards water resources and identification of stakeholders contribute to consider spatialized prospective scenarios as powerful tools to help decision-makers to manage water resources efficiently and sustainability.

Key-words: Spatial modelling, prospective, water management, complex systems, dynamics simulations, scenarios, land use and landcover changes, hedgerows network, riparian wetlands, agriculture.