



HAL
open science

Littoralisation de la façade nord-méditerranéenne : analyse spatiale et prospective dans le contexte du changement climatique

Sophie Lizard

► **To cite this version:**

Sophie Lizard. Littoralisation de la façade nord-méditerranéenne : analyse spatiale et prospective dans le contexte du changement climatique. Géographie. Université Nice Sophia Antipolis, 2013. Français. NNT : 2013NICE2040 . tel-00927492v2

HAL Id: tel-00927492

<https://theses.hal.science/tel-00927492v2>

Submitted on 20 Feb 2014

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

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



UNIVERSITÉ DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS

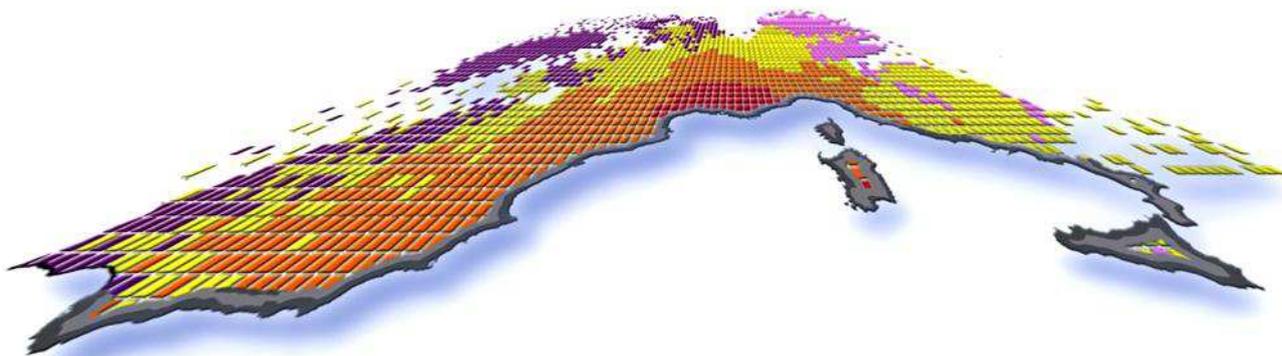
UFR « Espaces & cultures »
École Doctorale « Lettres, Sciences Humaines et Sociales »

Laboratoire ESPACE – UMR 7300

THÈSE
pour l'obtention du titre de
DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NICE-SOPHIA ANTIPOLIS
Discipline : Géographie et Aménagement

LITTORALISATION DE LA FAÇADE NORD-MÉDITERRANÉENNE

**Analyse Spatiale et Prospective dans le contexte
du Changement Climatique**



Présentée et soutenue publiquement par
Sophie LIZIARD

le 11 décembre 2013

Composition du jury :

M. Loïc GRASLAND, Professeur, Université d'Avignon et des Pays du Vaucluse
M. Patrice LANGLOIS, Professeur, Université de Rouen
Mme Christina ASCHAN-LEYGONIE, Maître de Conférences, Université Lyon 2
Mme Françoise GOURMELON, Directrice de recherche CNRS, UMR LETG Brest
M. Giovanni RABINO, Professeur, Politecnico de Milan
Mme Christine VOIRON-CANICIO, Professeure, Université de Nice Sophia Antipolis

Rapporteur
Rapporteur
Examinatrice
Examinatrice
Examineur
Directrice

RÉSUMÉ

Sur les littoraux de l'Arc Latin, les pressions anthropiques croissantes et les changements climatiques à venir soulèvent de nombreuses interrogations quant au devenir de ces territoires. Ces évolutions, qui ne vont pas dans le sens de la durabilité territoriale, nécessitent une anticipation, afin de devancer leurs conséquences et de pouvoir mettre en place des mesures de prévention et d'adaptation adéquates. L'incertitude ne doit pas proscrire le développement d'un socle de connaissances prospectives soutenant cette anticipation, mais celui-ci requiert de nouvelles approches.

C'est dans cette optique que se situe cette thèse, où deux axes de recherche sont développés : une prospective des dynamiques spatiales de littoralisation de l'Arc Latin et une évaluation de l'adaptabilité des territoires littoraux au changement climatique. Ils renvoient à une problématique méthodologique commune, qui est celle de l'évaluation des potentialités d'évolution des territoires littoraux. En effet, qu'il s'agisse de chercher comment un territoire est susceptible d'évoluer dans le futur ou comment une adaptation pourrait être mise en place pour préparer les effets d'un changement, l'approche proposée consiste à étudier les propriétés du territoire sur lesquelles se fondent ses évolutions. Interrogeant le rôle des configurations spatiales dans l'évolution des territoires, la posture générale est celle de la prospective spatiale, qui consiste à analyser le devenir des systèmes spatiaux à partir de leur fonctionnement passé et actuel et des propriétés du changement spatial. Des méthodes quantitatives de l'analyse spatiale (ESDA, modélisation par automate cellulaire et dynamique des systèmes) sont mobilisées et articulées avec des méthodes qualitatives (analyse de séquences, analyse de diagrammes causaux) pour intégrer les dynamiques spatio-temporelles et la complexité, au sens systémique du terme, de l'évolution des territoires.

L'étude des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin montre comment une analyse rétrospective des dynamiques, des logiques et des propriétés de l'évolution du peuplement permet de développer une connaissance prospective. Les résultats fournissent une vision d'ensemble et spatialement différenciée de la littoralisation et de ses évolutions potentielles. Ils permettent d'esquisser, au sein de l'Arc Latin, des modalités d'intervention en adéquation avec les territoires.

C'est aussi dans la perspective d'une action territoriale localisée, et face aux difficultés de définition de mesures d'adaptation aux changements climatiques, que deux démarches d'évaluation de l'adaptabilité sont mises en place. Elles explorent les potentialités des territoires pour la mise en place de l'adaptation, par la simulation sur des espaces théoriques d'une part, et par un diagnostic finalisé, appliqué à la montée du niveau de la mer en Camargue, d'autre part. Elles montrent l'intérêt d'élargir l'évaluation des capacités d'adaptation des territoires à la prise en compte des configurations spatiales, sans négliger pour autant le rôle des acteurs. L'approche géographique, à la fois spatiale et systémique, permet de mettre en évidence des facteurs et mécanismes favorables et défavorables à l'adaptation, spécifiques aux territoires étudiés. Ils constituent des leviers et des freins sur lesquels peuvent s'appuyer les politiques d'adaptation, dans une optique de développement durable territorialisé.

ABSTRACT

The growing anthropic pressures and the upcoming climatic changes raise many questions about the future of the coasts of the Latin Arc. As these evolutions are not heading towards territorial sustainability, they need anticipation in order to get ahead of their consequences and to put in place appropriate preventive and adaptive measures. Thus, building a prospective knowledge which might be a basis for anticipation should not be proscribed because of its uncertainty, but requires innovative approaches.

This thesis is in line with this perspective. Two areas of research are developed: a prospective of littoralisation spatial dynamics in the Latin Arc, along with an assessment of the adaptability of coastal territories to climate change. These two points belong to the same methodological approach, which assesses the evolution potential of coastal territories. Indeed, we suggest investigating how a territory would be likely to evolve in the future and how adaptation could be set up in order to adjust it, by identifying and studying the territorial properties on which evolution is based. Because we question the role of spatial configurations in the evolution of territories, we thus position into the framework of spatial prospective. This field explores the future of spatial systems on the basis of their past and actual functioning and of spatial change properties. Quantitative methods of spatial analysis (ESDA, cellular automata modeling and system dynamics) are operated and connected with qualitative methods (sequence analysis, causal systems analysis). They enable to integrate spatio-temporal dynamics and complexity, in the systemic sense of the term, of the evolution of territories.

Examining the littoralisation trajectories of the Latin Arc shows how a prospective knowledge can be developed by a retrospective analysis of the dynamics, logics and properties of settlement evolution. The results provide an overall and spatially differentiated vision of littoralisation and of its possible evolutions. They enable us to sketch several intervention modalities which are compatible with territories, within the Latin Arc.

In the perspective of a differentiated territorial action, confronted with the difficulties of defining adaptation measures to climate change, two approaches of assessing territories adaptability have been set up. They explore the adaptation potential of territories by a simulation approach on theoretical spaces on the one hand, and by a final diagnosis applied to the rise of sea level in Camargue on the other hand. They show the interest of taking into account spatial configuration analysis and the role of actors in the assessment of the capacity for adaptation of territories. The spatial and systemic geographical approach enables to highlight several factors and mechanisms that support or put a disadvantage on adaptation on the studied territories. They constitute levers and brakes to which adaptation policies could refer, in order to head towards a territorialised sustainable development.

REMERCIEMENTS

Cette thèse doit beaucoup aux personnes qui m'ont entourée et soutenue ces dernières années. En premier lieu, j'adresse mes remerciements les plus vifs à Mme Christine Voiron-Canicio, pour sa confiance, son implication dans l'encadrement de ma thèse, et plus largement pour m'avoir transmis sa passion pour la recherche. Je tiens à exprimer ici toute ma reconnaissance pour les opportunités qu'elle m'a aidé à saisir et qui m'ont permis de mener mon parcours de doctorante dans les meilleures conditions.

Je remercie M. Loïc Grasland, M. Patrice Langlois, Mme Christina Aschan-Leygonie, Mme Françoise Gourmelon et M. Giovanni Rabino d'avoir accepté de faire partie de mon jury de thèse et de l'intérêt ainsi porté à mon travail.

Je tiens également à remercier la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur qui a financé cette thèse et la délégation PACA du Conservatoire du Littoral qui en a soutenu le projet.

J'ai une pensée chaleureuse pour les collègues avec lesquels j'ai eu la chance de collaborer à diverses étapes de mon parcours : Samuel Robert, Nathalie Dubus, Jean-Christophe Loubier, toute l'équipe du programme de recherche CAMPLAN et plus particulièrement Alain Dervieux. Ces rencontres ont été très enrichissantes et sympathiques.

Un grand merci également à toute l'équipe de l'UMR ESPACE de Nice pour les échanges, les encouragements, les travaux en commun et les bons moments passés ensemble. Je remercie tout spécialement Véronique Gibello, Giovanni Fusco, Karine Emsellem, Matteo Caglioni et Pierre-Alain Mannoni pour l'attention qu'ils m'ont accordée. Je profite de cette page pour remercier Fabrice Decoupigny, Touria Hlimi et Nicolas Martin pour m'avoir permis d'enseigner dans de très bonnes conditions au département de géographie de l'Université de Nice. J'ai une pensée amicale pour les doctorants, nostalgique pour ceux qui ont fini depuis quelques temps déjà, et solidaire pour les doctorants de troisième année, Johanna Fusco et Sébastien Passel, qui voient à présent le temps s'accélérer.

« Hâtez-vous lentement ; et, sans perdre courage,

Vingt fois sur le métier remettez votre ouvrage :

Polissez-le sans cesse et le repolissez ;

Ajoutez quelquefois, et souvent effacez. »

Boileau, 1674

Je remercie d'ailleurs Johanna, toujours là pour un coup de main en infographie et en anglais, et Alexis Conesa pour ses conseils et ses relectures. Une pensée particulière va à Floriane Scarella et Dorian Souliès pour ces années de thèse partagées. Nous allons bientôt pouvoir réaliser notre programme « d'après-thèse » ! Je remercie mes amis pour leurs encouragements et leur compréhension ces derniers mois. Encore merci à Alexis pour sa présence et ses précieux encouragements. Merci à ma famille pour son soutien tout au long de mes études, les mails, les virées au supermarché et les petits dessins.

*« L'absence diminue les médiocres passions, et augmente les grandes,
comme le vent éteint les bougies et allume le feu. »*

François de La Rochefoucauld, 1664

À Alexis

SOMMAIRE

INTRODUCTION GÉNÉRALE	11
PREMIÈRE PARTIE	
POUR UNE PROSPECTIVE SPATIALE DES TERRITOIRES LITTORAUX DE L'ARC LATIN	15
CHAPITRE I. LE DEVENIR DES TERRITOIRES LITTORAUX : UN BESOIN DE CONNAISSANCES PROSPECTIVES FACE AU CUMUL DES PRESSIONS	17
CHAPITRE II. DEMARCHE, METHODES ET CONCEPTS POUR UNE ANALYSE PROSPECTIVE DES LITTORAUX DE L'ARC LATIN DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE	81
DEUXIEME PARTIE	
PROSPECTIVE DES TRAJECTOIRES DE LITTORALISATION DE L'ARC LATIN	125
CHAPITRE III. ANALYSE RETROSPECTIVE DES TRAJECTOIRES DE LITTORALISATION	127
CHAPITRE IV. PROSPECTIVE DE LA LITTORALISATION DE L'ARC LATIN A PARTIR DE L'ANALYSE DES TRAJECTOIRES DE PEUPLEMENT	179
TROISIEME PARTIE	
EVALUATION DE L'ADAPTABILITE DES TERRITOIRES LITTORAUX AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	233
CHAPITRE V. ANALYSE DE L'ADAPTABILITE PAR MODELISATION DU FONCTIONNEMENT DE SYSTEMES TERRITORIAUX ET SIMULATION DE L'EFFET DE MESURES D'ADAPTATION : OCCUPATIONS DU SOL ET CONSOMMATIONS D'EAU DE TERRITOIRES LITTORAUX FICTIFS FACE A L'EVOLUTION DES PARAMETRES CLIMATIQUES	235
CHAPITRE VI. ÉVALUATION DE L'ADAPTABILITE PAR DIAGNOSTIC TERRITORIAL ET ANALYSE SYSTEMIQUE : ACTIVITES ET ACTEURS EN CAMARGUE FACE A LA MONTEE DU NIVEAU DE LA MER	295
CONCLUSION GÉNÉRALE	331
BIBLIOGRAPHIE	343
TABLE DES FIGURES	361
TABLE DES TABLEAUX	365
ANNEXES	367
TABLE DES MATIÈRES	385

TABLE DES SIGLES

APUR : Atelier parisien d'urbanisme
ASA : Associations Syndicales d'Assainissement
CAMPLAN : Programme de recherche sur la gestion intégrée de l'hydrosystème Camargue et Plan-du-Bourg
CAR : Centre d'Activités Régionales
CEDE : Commission Exécutive De l'Eau
CETE Méditerranée : Centre d'Études Techniques de l'Équipement – Méditerranée
CRIGE PACA : Centre Régional de l'Information Géographique de Provence-Alpes-Côte d'Azur
DATAR : Délégation interministérielle à l'aménagement du territoire et à l'attractivité régionale
DEDUCE Consortium : Consortium du Développement durable des zones côtières européennes
DIACT : Délégation interministérielle à l'aménagement et à la compétitivité des territoires
EEA : European Environment Agency (Agence européenne de l'environnement)
ESDA : Exploratory Spatial Data Analysis (Analyse exploratoire de données spatiales)
ESRI : Environmental Systems Research Institute
EUROSION : European initiative for sustainable coastal erosion management
GES : Gaz à Effet de Serre
GIEC : Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat
GIZC : Gestion Intégrée des Zones Côtières
GPMM : Grand Port Maritime de Marseille
IDDRI : Institut du Développement Durable et des Relations Internationales
IFEN : Institut Français de l'Environnement
INE : Instituto Nacional de Estadística (institut de statistique espagnol)
INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (France)
ISTAT : Istituto nazionale di statistica (institut de statistique italien)
LISA : Local Indicators of Spatial Association (Indicateurs locaux d'association spatiale)
MAE : Mesures Agri-Environnementales
MCG : Modèle de Circulation Générale de l'atmosphère
MCR : Modèle Climatique Régional
MEDCIE du Grand Sud-est : Mission d'études et de développement des coopérations interrégionale et européenne
NGF : Nivellement Général de la France
NUTS : Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques
OCDE : Organisme de Coopération et de Développement Economiques
ONERC : Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique
PAC : Politique Agricole Commune
PAM : Plan d'Action pour la Méditerranée
PAP/RAC : Priority Action Program/Regional Activity Centre
PLU : Plan Local d'Urbanisme
PNRC : Parc Naturel Régional de Camargue
PNUE : Programme des Nations Unies pour l'Environnement
POS : Plan d'Occupation des Sols
SCOT : Schéma de cohérence territoriale
SMGAS : Syndicat Mixte de Gestion des Associations Syndicales du Pays d'Arles
SYMADREM : Syndicat Mixte d'Aménagement des Dignes du Rhône et de la Mer
TERI : The Energy and Resources Institute
UMR ESPACE : Unité Mixte de Recherche - Étude des Structures, des Processus d'Adaptation et des Changements de l'Espace

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Envisagé dans la perspective de la durabilité des territoires, le développement des littoraux est une problématique complexe, recouvrant des enjeux territoriaux variés. Les littoraux méditerranéens de France, d'Italie et d'Espagne constituent l'espace pionnier de déploiement du processus de concentration des hommes et des activités sur les côtes, appelé littoralisation. Cette concentration humaine, qui atteint des stades avancés, et la vulnérabilité des espaces côtiers, où convergent de multiples aléas, sont à l'origine d'importantes pressions environnementales, économiques et sociales. Le changement climatique, annoncé comme facteur majeur de bouleversement pour la Méditerranée du XXI^e siècle, devrait en outre renforcer ces pressions, du fait de la modification des paramètres climatiques et de l'augmentation de l'occurrence et de l'intensité des aléas (GIEC 2008).

Ces évolutions, contraires au développement durable des littoraux (DATAR 2004), requièrent une anticipation, afin de devancer leurs conséquences et mettre en place des mesures de prévention adéquates. En effet, les dispositifs de réglementation de l'urbanisation et de la protection des espaces littoraux, instaurés tardivement et maintes fois dévoyés, n'ont pu qu'agir à la marge et n'ont pas pu véritablement orienter le développement. D'autre part, préparer les territoires aux effets du changement climatique est désormais reconnu comme un impératif. Il est institutionnalisé en France par les Plans Climat-Énergie Territoriaux dans lesquels les collectivités doivent présenter un plan d'adaptation au changement climatique. Cependant, le renforcement des incertitudes place les gestionnaires de ces territoires dans un contexte décisionnel délicat. La définition des plans d'adaptation reste problématique, face aux nombreuses interrogations quant aux devenir des territoires littoraux.

Afin de soutenir cette anticipation, l'objectif de cette thèse est de développer des connaissances permettant de mieux appréhender les évolutions futures des territoires littoraux de l'Arc Latin. Le premier enjeu est d'ordre méthodologique : en effet, comment, dans ce contexte d'incertitudes, faire émerger une connaissance prospective ? Sur quelles approches et quels outils peut-elle se baser ? Les principes de la Gestion Intégrée des Zones Côtières mettent en exergue la nécessité d'une approche intégratrice et territorialisée pour la mise en œuvre d'actions tendant vers un développement durable. De même, une dimension importante de la difficulté à définir des mesures d'adaptation au changement climatique est liée à leur caractère non universel et nécessairement territorialisé. Un second enjeu concerne ainsi la nécessité d'intégrer les spécificités des évolutions des territoires, dans la perspective d'une action territoriale différenciée. Afin de répondre à ces deux enjeux, la démarche adoptée consiste à explorer, sous l'angle de l'analyse spatiale, les potentiels d'évolution des territoires, leurs marqueurs et leurs leviers. Elle s'ancre ainsi dans l'analyse des dynamiques passées et

du fonctionnement présent des territoires pour identifier les logiques et facteurs de changement et essayer de réduire l'incertitude – dans les limites de l'exercice – sur leur devenir. Visant à explorer le rôle des configurations spatiales dans l'évolution des territoires, la posture générale est donc celle de la prospective spatiale, qui consiste à analyser le devenir des systèmes spatiaux à partir des propriétés du changement spatial (Casanova 2010). Cette démarche est mise en œuvre à travers deux axes de recherche.

D'une part, une prospective des dynamiques de littoralisation de l'Arc Latin est développée. La question de la poursuite du processus de littoralisation sur les espaces atteignant un stade avancé, comme sur ceux en plein essor ou encore préservés, interroge les modalités d'évolution de ce processus. Derrière la tendance lourde qu'est la littoralisation, comment se déroule cette densification des côtes, à l'échelle infrarégionale ? Le phénomène est-il partout le même dans sa nature, ses formes, évolutions, rythmes ? La forte structuration des dynamiques spatiales décrite par le modèle de la littoralisation (concentration sur quelques pôles urbains littoraux, formation d'une conurbation littorale, redéploiement vers l'intérieur des terres) nous amène à formuler notre première hypothèse de recherche : les dynamiques de littoralisation s'inscriraient dans une logique d'évolution spatio-temporelle pouvant renseigner sur leurs évolutions prochaines (H1). On peut alors se demander s'il n'existe qu'un seul modèle de littoralisation - avec des décalages temporels selon les régions - ou bien plusieurs « sous-modèles » distincts ? L'existence d'un ou plusieurs modèles de littoralisation pourrait avoir des implications sur les évolutions futures des régions côtières. Notre seconde hypothèse, justifiée au niveau théorique par le rôle de la différenciation spatiale dans l'évolution des territoires et étayée par quelques observations factuelles, est que les régions littorales présentent différents schémas d'évolution spatio-temporelle (H2). Une approche comparative au sein de l'Arc Latin, appréhendant le phénomène à une échelle spatiale fine et sur un temps long, est requise pour identifier ces différentes trajectoires de littoralisation. Nous faisons l'hypothèse que l'analyse de ces trajectoires, dans une démarche de prospective spatiale, devrait pouvoir fournir une information pertinente pour une gestion anticipatrice et différenciée des dynamiques de littoralisation (H3).

D'autre part, deux démarches d'identification des capacités d'adaptation des territoires littoraux au changement climatique sont élaborées. Il s'agit ici aussi d'analyser les potentialités d'évolution des territoires littoraux à travers leur composante spatiale. Parmi les approches scientifiques de l'adaptation, l'évaluation des capacités d'adaptation vise à définir les ressources (technologies, ressources, institutions, etc.) sur lesquelles peuvent se baser l'adaptation. Cependant, le développement d'indicateurs de la capacité d'adaptation se heurte au fait que ses déterminants sont spécifiques aux systèmes étudiés et à leurs caractéristiques (Adger et Vincent 2005). Dans ce contexte, l'évaluation des capacités d'adaptation des territoires semble pouvoir trouver intérêt à être élargie à la prise en compte des configurations

spatiales, sans négliger pour autant le rôle des acteurs. Nous faisons l'hypothèse que la géographie, par ses savoir-faire en termes d'analyse du fonctionnement et des propriétés des systèmes spatiaux, peut contribuer à identifier les facteurs spécifiques à des territoires jouant en faveur et défaveur de leur adaptation (H4). Les deux démarches explorent les potentialités des territoires pour la mise en place de l'adaptation dans des optiques différentes. La première démarche vise à simuler l'effet de mesures d'adaptation au changement climatique sur différents espaces théoriques, afin de comparer l'adaptabilité conférée par leur organisation spatiale. La seconde, qui revêt une perspective plus directement opérationnelle, propose une démarche de diagnostic territorial finalisé sur l'évaluation des capacités d'adaptation du système camarguais face à l'augmentation du niveau de la mer. Notre dernière hypothèse concerne en effet l'idée qu'une telle analyse géographique, spatiale et systémique, puisse mettre en évidence des leviers et des freins pour renforcer l'adaptabilité des territoires et aider ainsi au choix de mesures d'adaptation en adéquation avec les contextes territoriaux (H5).

Ces différentes analyses mobilisent et articulent des méthodes quantitatives de l'analyse spatiale (ESDA, modélisation par automate cellulaire et dynamique des systèmes) et des méthodes qualitatives (analyse de séquences, analyse de diagrammes causaux) afin d'intégrer la complexité, au sens systémique du terme, des territoires et leurs dynamiques spatio-temporelles.

Cette thèse se structure en trois grandes parties, rassemblant chacune deux chapitres. La première partie pose les fondements de cette recherche, à la fois au niveau du contexte thématique et des enjeux opérationnels dans le chapitre 1, et au niveau des démarches, des méthodes et des concepts dans le chapitre 2. Les deux axes de recherche sont traités par la suite distinctement au sein des parties 2 et 3.

La deuxième partie correspond ainsi à l'analyse prospective des dynamiques de littoralisation de l'Arc Latin. La mise en évidence des trajectoires de littoralisation, caractérisant les évolutions spatio-temporelles des processus de peuplement, est présentée au chapitre 3. La rétrospective porte sur des données de populations communales pour la période 1960-2010. L'analyse des propriétés des trajectoires et la prospective figurent au chapitre 4.

La troisième partie concerne les deux démarches d'évaluation de l'adaptabilité. Au chapitre 5, les simulations de la mise en place de mesures d'adaptation sont effectuées à partir d'une modélisation des dynamiques d'occupation du sol d'espaces littoraux fictifs et de l'évolution des consommations d'eau des activités qui y sont associées. Enfin, au chapitre 6, la démarche de diagnostic de l'adaptabilité de la Camargue, élaborée au sein du programme de recherche interdisciplinaire CAMPLAN, intègre le rôle des acteurs.

PREMIÈRE PARTIE

POUR UNE PROSPECTIVE SPATIALE DES TERRITOIRES LITTORAUX DE L'ARC LATIN

Cette thèse, qui vise à l'analyse des dynamiques d'évolution passées et à venir des régions littorales de l'Arc Latin, articule deux problématiques majeures pour ces territoires : la littoralisation, dont l'intensité marque profondément l'évolution de ces littoraux depuis la seconde moitié du XXe siècle, et le changement climatique, annoncé comme facteur majeur de bouleversement pour la Méditerranée du XXIe siècle. Le contexte de cette recherche correspond ainsi à un cumul des pressions et des incertitudes pour l'avenir, nécessitant une gestion anticipatrice des territoires. Ce contexte, objet du chapitre I, permet de préciser les objectifs de cette thèse, d'une part le développement d'une connaissance prospective sur les dynamiques de littoralisation et d'autre part une meilleure compréhension des facteurs d'adaptation des territoires face aux changements climatiques. Le chapitre II présente les fondements théoriques, méthodologiques et conceptuels sur lesquels se basent les analyses mises en place dans la thèse, et notamment les notions de trajectoires de littoralisation et d'adaptabilité des territoires au changement climatique.

Chapitre I. Le devenir des territoires littoraux : un besoin de connaissances prospectives face au cumul des pressions

À l'échelle mondiale, la population des littoraux présente une densité près de cinq fois supérieure à celle des terres habitées (Noin 1999). Les régions littorales des pays riverains de la Méditerranée rassemblent 157 300 000 habitants environ en 2008, soit un tiers de la totalité des populations nationales (Plan Bleu 2011a). Même si les disparités sont fortes entre les pays, les densités des régions littorales sont globalement très élevées. Sur la rive nord-occidentale, elles se situent autour de 200 habitants/km² (Espagne, France et Italie). Le développement intense de ces espaces soulève des questions de durabilité territoriale. Les pressions anthropiques croissantes et les incertitudes entourant les changements climatiques à venir renouvellent les interrogations quant au devenir des territoires littoraux.

1. L'intensification de l'occupation des littoraux nord-méditerranéens

L'intensification de l'occupation des littoraux est un phénomène ancien qui revêt une dimension majeure depuis la seconde partie du XX^e siècle. Le processus de littoralisation, soit la concentration des hommes et des activités sur les littoraux, est initialement engagé par la migration des populations rurales des arrière-pays vers les zones côtières. Mais ce facteur ne peut expliquer à lui seul la surconcentration littorale des hommes et des activités que l'on observe actuellement par rapport au reste du territoire. Cette densification des littoraux atteint aujourd'hui des stades avancés sur certains rivages des côtes nord-méditerranéennes. Cette première partie présente ainsi comment le processus de littoralisation s'est développé et renforcé sur les rivages nord-méditerranéens et montre que les conséquences territoriales et la difficile maîtrise du développement des littoraux nécessitent le développement d'une connaissance prospective des dynamiques de littoralisation intégrant leurs différenciations spatiales et temporelles.

1.1. La littoralisation, une tendance lourde

1.1.1. Une convergence de processus à différentes échelles

Caractérisant l'évolution des littoraux attractifs, la littoralisation correspond à un modèle spatial associant densification des zones côtières et déclin des arrière-pays. La plupart des définitions du concept de littoralisation apparaissant dans les articles scientifiques et les publications des institutions en charge des littoraux mettent l'accent sur la surconcentration littorale des hommes et des activités (Plan Bleu 2001). La littoralisation y exprime alors un double processus : celui du développement démographique et économique des zones côtières, et simultanément de régression du poids des espaces situés dans les zones éloignées des bords de mer (Loinger et Dubois 2001). Certaines définitions se concentrent sur l'intensité accrue du développement et de la transformation des zones côtières, qui se caractérise par des flux démographiques et socio-économiques intenses (Coccossis et Henocque 2001). Le terme est d'ailleurs parfois employé pour désigner indifféremment l'urbanisation généralisée des littoraux (PAP/RAC 2008). La définition donnée par C. Voiron-Canicio (1999), selon laquelle la littoralisation fait référence aux processus de densification des espaces littoraux, ainsi qu'aux résultats de ces processus (soit une forte différenciation spatiale) permet d'intégrer ces différents aspects.

Les processus de littoralisation débutent à la fin du XIX^e siècle sur la rive nord-méditerranéenne avec la déstructuration de l'économie et des sociétés rurales traditionnelles des arrière-pays (Plan Bleu 2001). La modernisation de l'agriculture et les difficultés de l'économie rurale y ont initié un nouveau mode de répartition de la population dans l'espace (Loinger et Dubois 2001), par la migration des populations des arrière-pays vers les littoraux. La littoralisation a en effet concerné en priorité les pays qui se sont plus fortement et plus tôt ouverts à l'économie mondiale : la France méditerranéenne et l'Italie, puis l'Espagne. Ainsi, l'Arc Latin, qui s'étend du détroit de Gibraltar à la mer Ionienne, constitue l'espace pionnier du déploiement de ce processus. Les cartes présentées en Figure I-1 (Moriconi-Ebrard 2001) montrent une forte croissance des agglomérations de l'Arc Latin. Ces agglomérations dépassaient déjà les 10 000 habitants en 1950 et forment sur la carte de 1995 un chapelet quasi-continu le long du littoral.

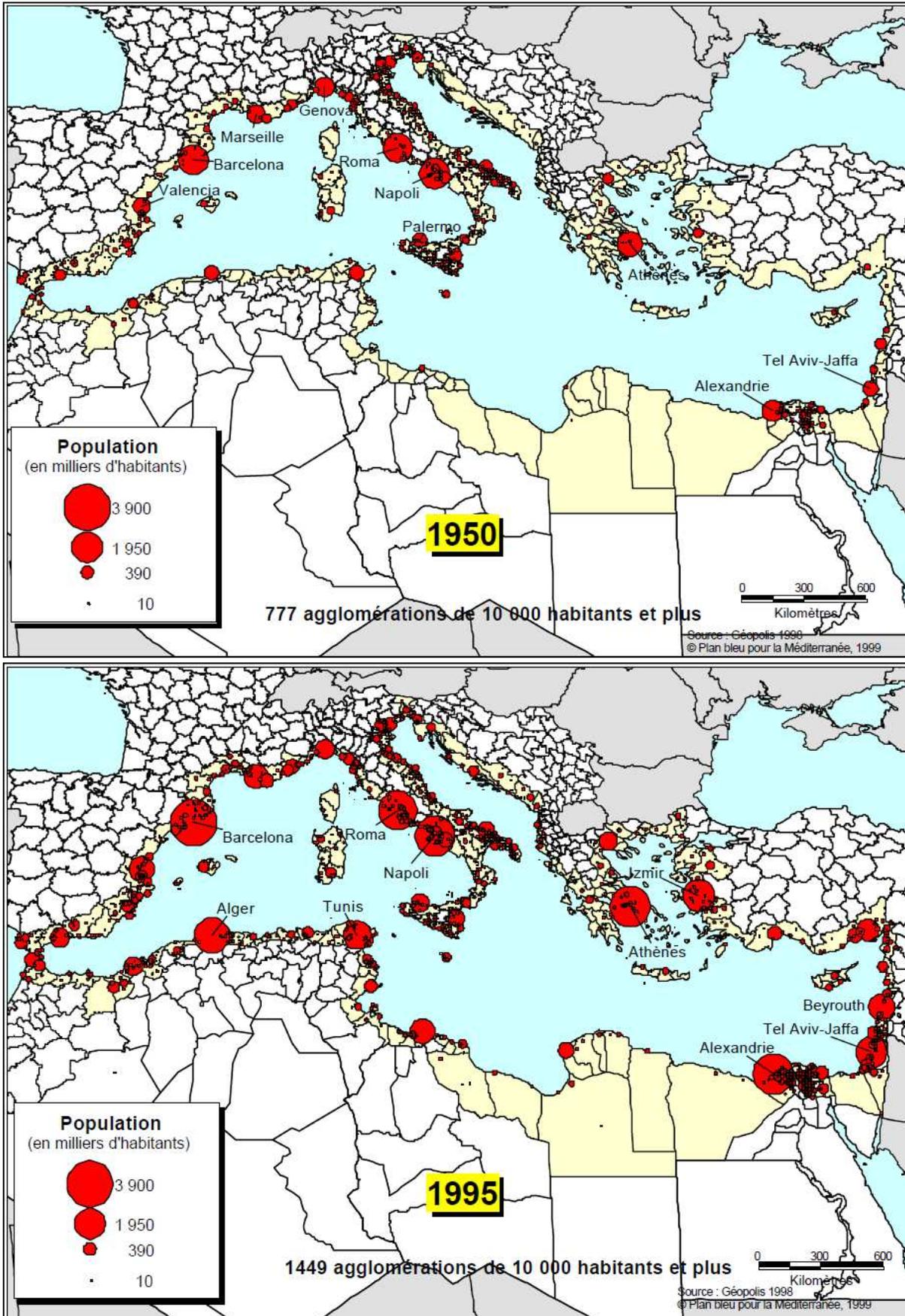
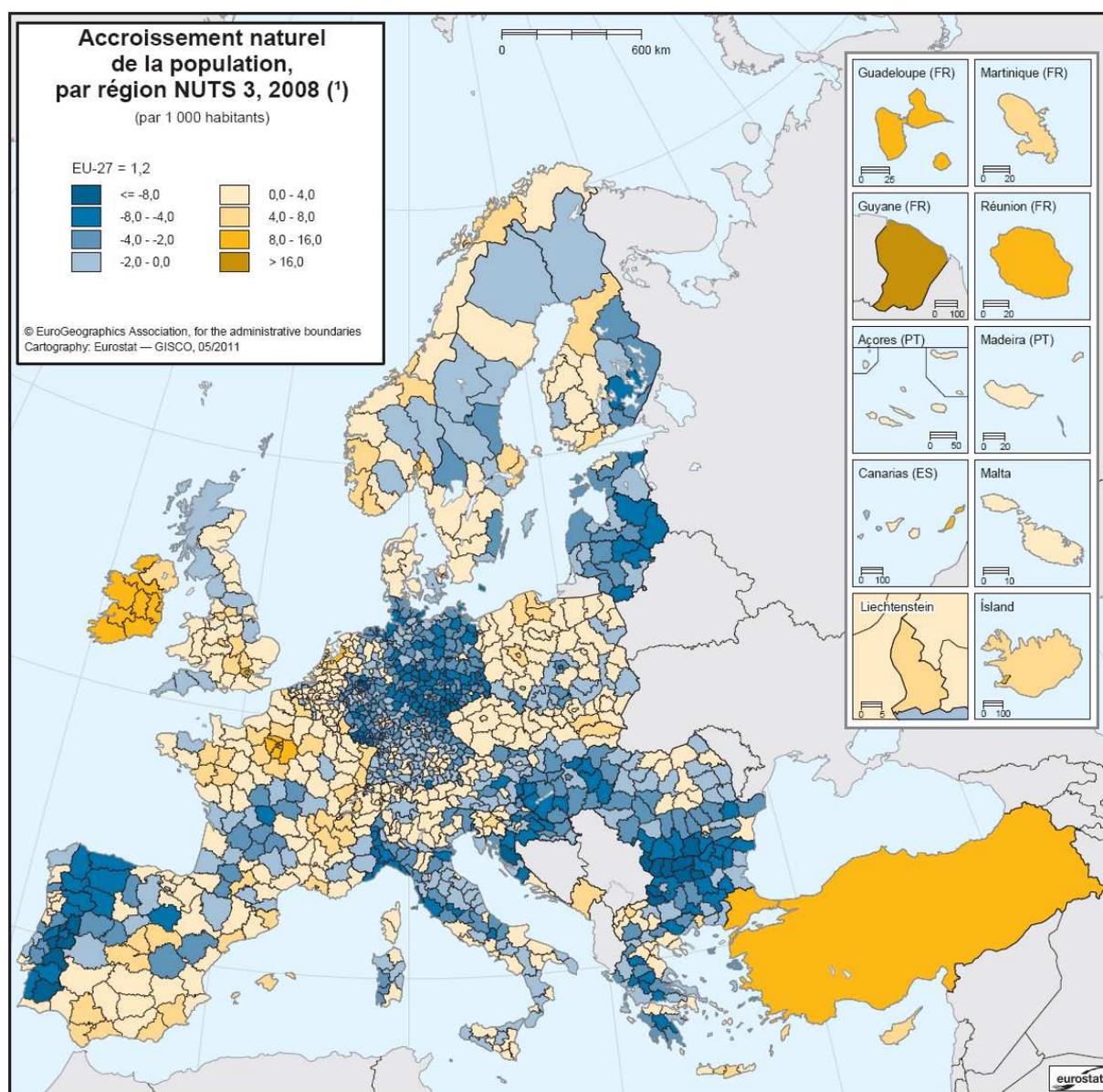


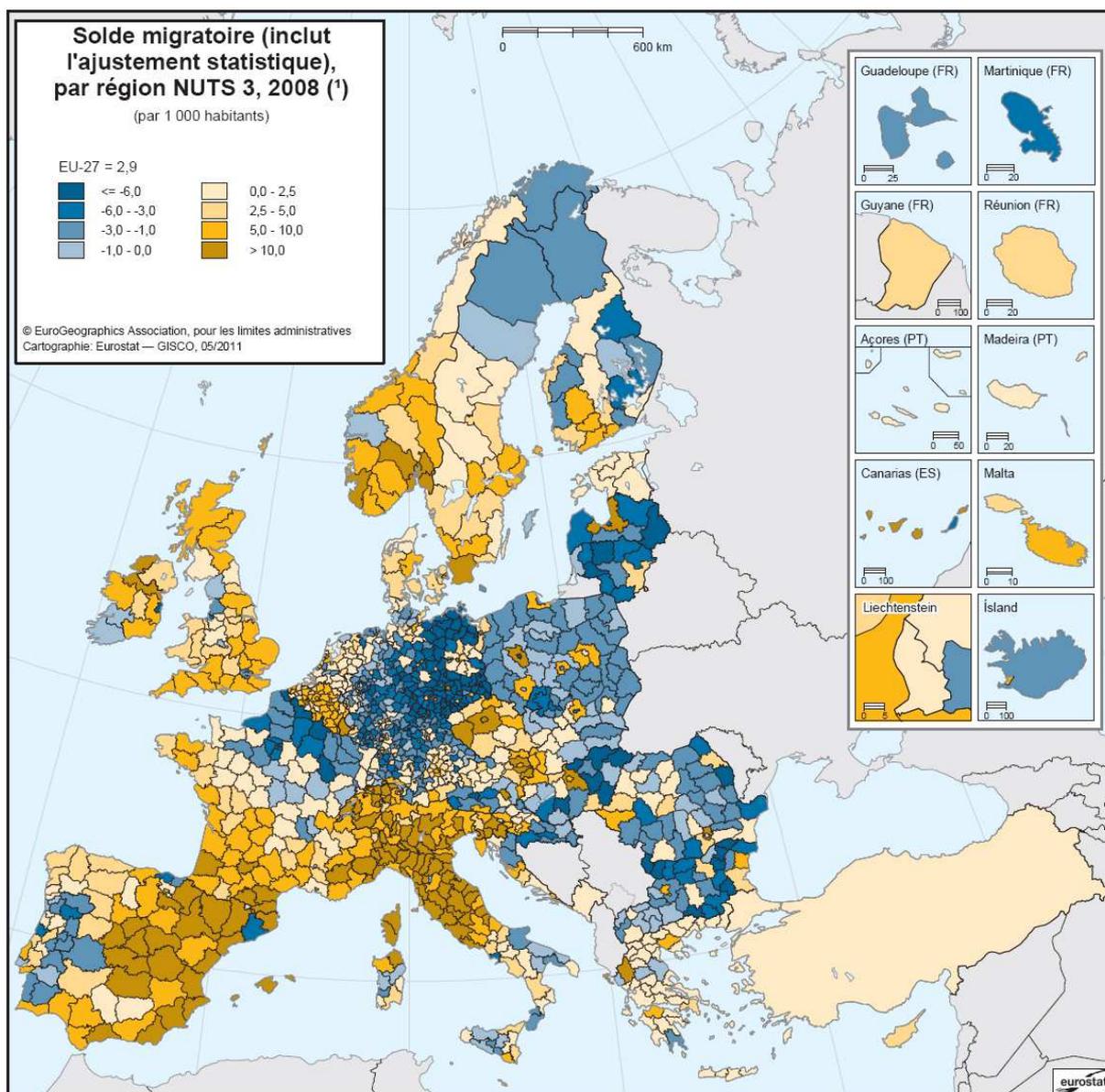
Figure I-1. Les agglomérations des régions littorales méditerranéennes en 1950 et en 1995 (Moriconi-Ebrard 2001)

Outre l'ancienneté et l'ampleur du phénomène, l'Arc Latin possède une autre spécificité par rapport aux espaces méditerranéens, dans l'origine de cette croissance démographique. Si la croissance démographique était soutenue jusqu'au milieu des années 1960 par le « baby-boom » en France et par une natalité encore élevée en Italie et en Espagne, l'intensification de l'occupation des littoraux a par la suite été alimentée par le solde migratoire, dans une période marquée par le fléchissement, voire l'effondrement de la natalité des régions de l'Arc Latin. L'évolution démographique de l'année 2008 illustre cette situation : malgré les faibles taux d'accroissement naturel de la population, tout particulièrement en Italie (Figure I-2), les forts soldes migratoires de l'Arc Latin (Figure I-3) sont à l'origine d'une forte croissance démographique, exceptée pour le sud de l'Italie (Figure I-4). L'intensité de la croissance démographique liée aux migrations distingue l'Arc Latin du reste de la zone européenne.



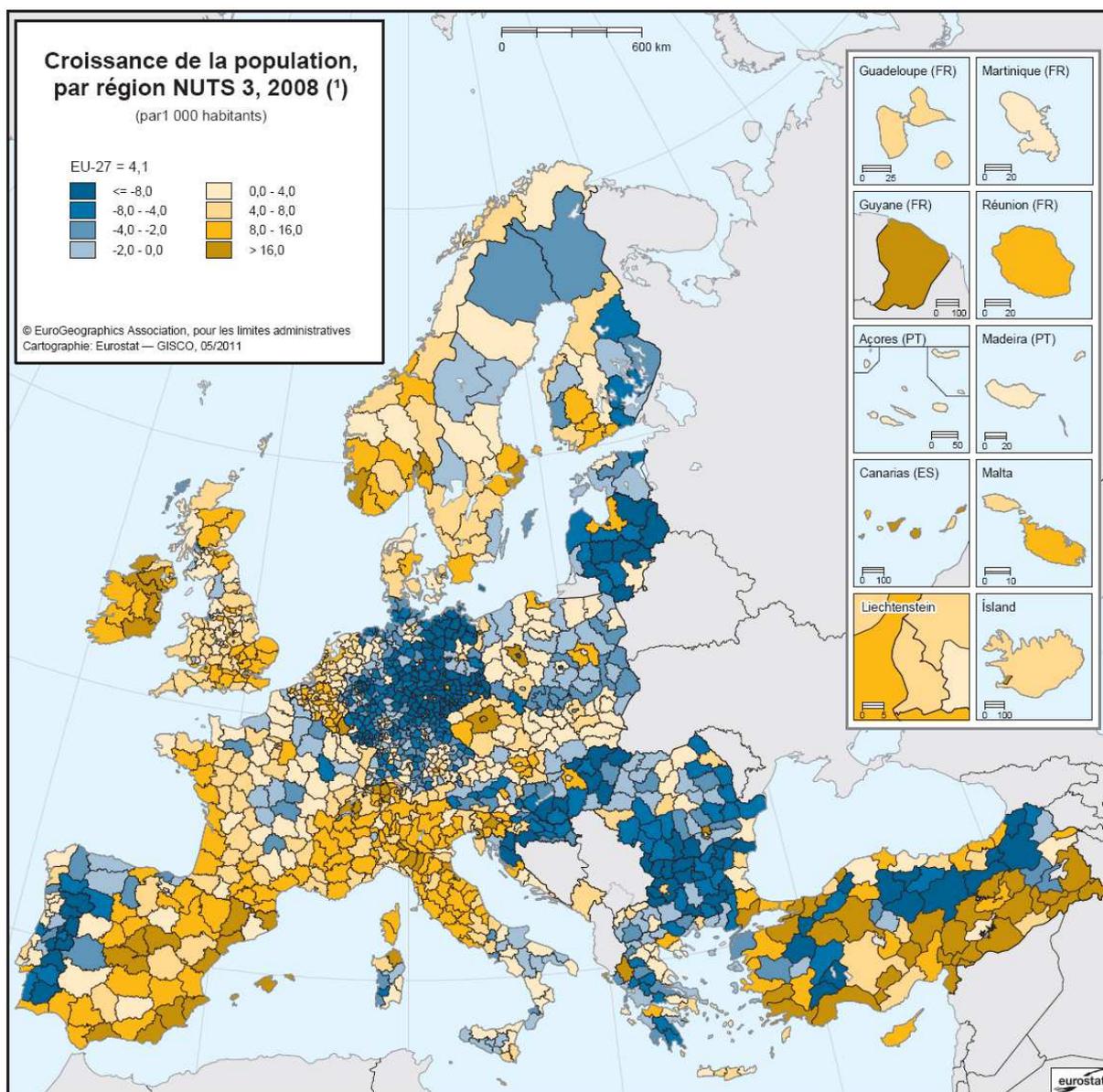
(*) Belgique, 2007; Royaume-Uni, 2007 et régions NUTS 2; Turquie, au niveau national.

Figure I-2. Carte des taux d'accroissement naturel par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011)



(*) Belgique, 2007; Royaume-Uni, 2007 et régions NUTS 2; Turquie, au niveau national.

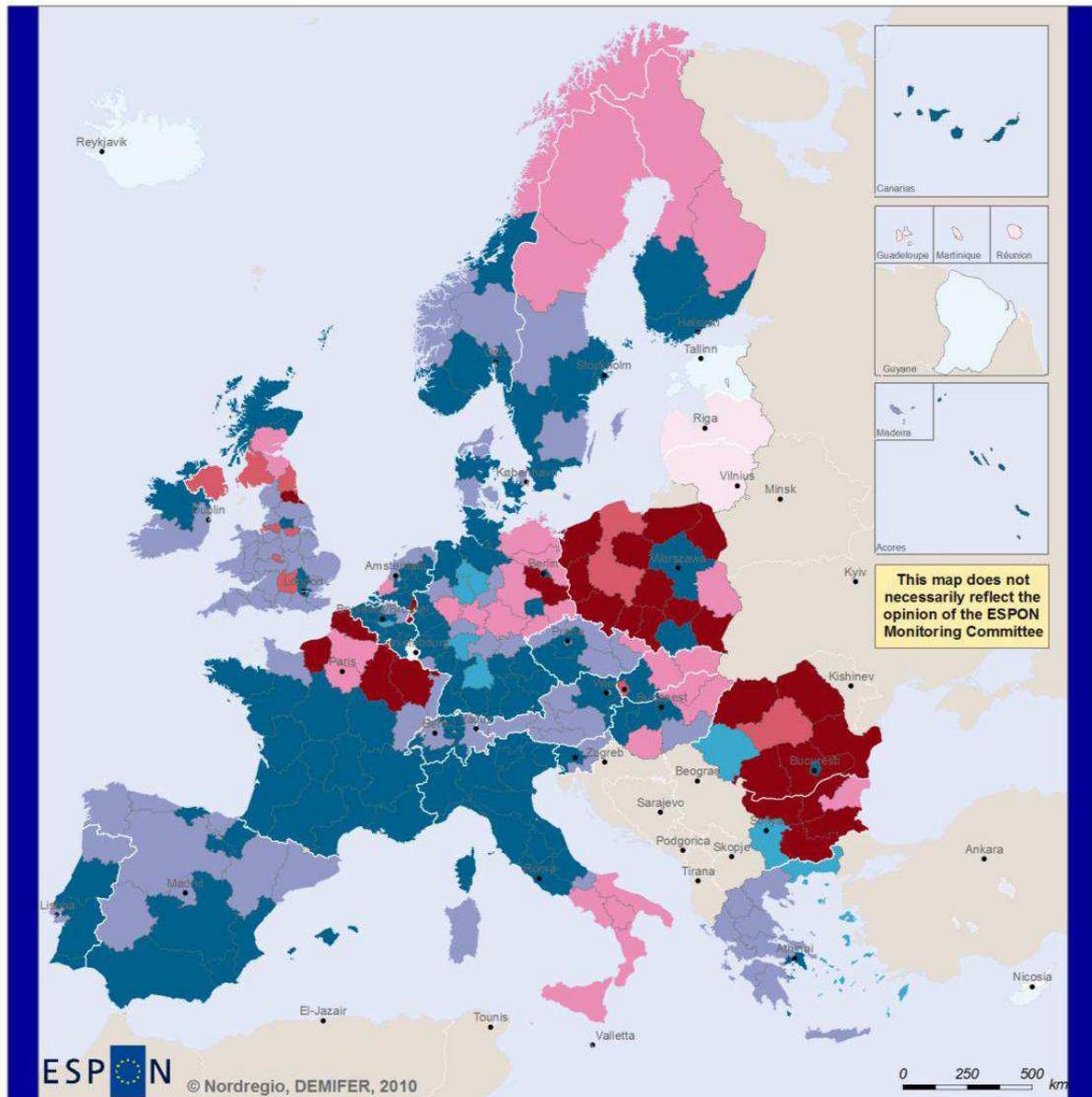
Figure I-3. Carte des taux nets de migration par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011)



(*) Belgique et Royaume-Uni, 2007.

Figure I-4. Carte des taux d'accroissement démographique par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011)

La croissance démographique a été alimentée par des migrations de portée régionale (des arrière-pays vers les côtes), nationale (de l'intérieur vers les côtes) et internationale (Europe centrale et de l'Est, Maghreb, Amérique latine). Ainsi, pour la majeure partie de l'Arc Latin, le solde migratoire est positif aussi bien en ce qui concerne les migrations nationales (Figure I-5). Seuls la Catalogne et le Mezzogiorno sont caractérisés par un taux de migration interne négatif et un taux de migration international positif.



EUROPEAN UNION
Part-financed by the European Regional Development Fund
INVESTING IN YOUR FUTURE

Regional level: NUTS 2
Source: ESPON 2013 Database 2010
Origin of data: Eurostat 2009, NSIs 2009, University of Leeds 2009
© EuroGeographics Association for administrative boundaries

Internal and international migration balance in the NUTS2 Regions in 2000-2007*

Total migration: FR 2000-2006; Domestic- & international migration: CH 01-04, DE 02-07, DK 06-07, FR 06, GR & PT 01, IE 02-06, IT 00-05

Positive Net Migration

 Positive Internal and International Migration	(112)
 Positive Internal and Negative International Migration	(10)
 Negative Internal and Positive International Migration	(82)
 No Differentiation	(7)

No differentiation between internal and international migration (Countries with only one NUTS2 region & French overseas regions)

(x) - number of regions per category

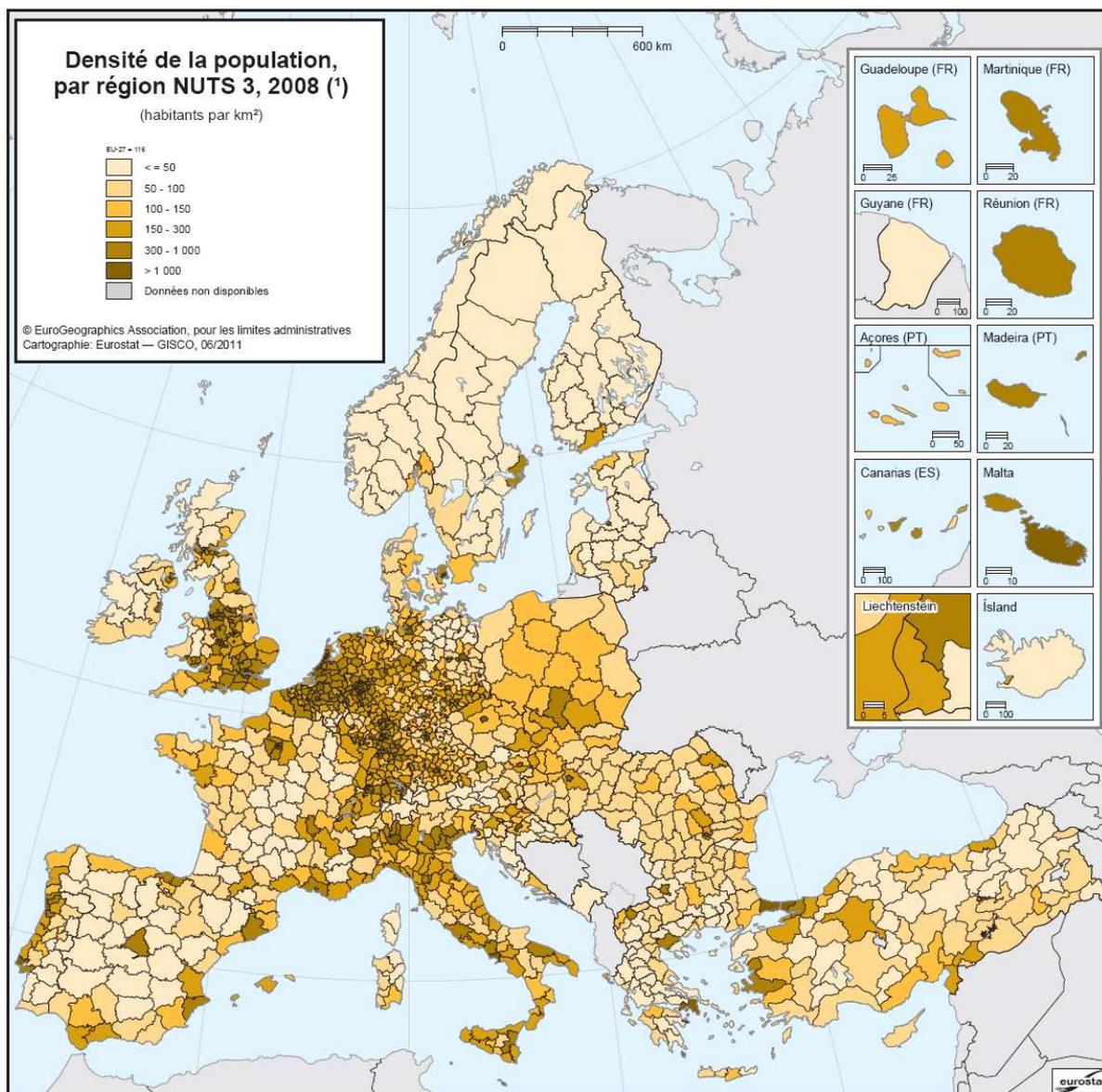
Negative Net Migration

 Positive Internal and Negative International Migration	(12)
 Negative Internal and Positive International Migration	(31)
 Negative Internal and International Migration	(28)
 No Differentiation	(5)

No data

Figure I-5. Composantes nationale et internationale du solde migratoire par région NUTS 2 entre 2000 et 2007 (ESPON 2013)

Cette attractivité des littoraux de l'Arc Latin s'explique par un renouvellement des fonctions et de l'attractivité des espaces côtiers qui a été largement favorable à la littoralisation. D'une part, la maritimisation de l'économie, liée à la mondialisation des échanges, a favorisé le développement de zones industrialo-portuaires importantes et la création d'emplois. D'autre part, le développement du tourisme balnéaire a contribué à rendre les côtes attractives non seulement par la création d'emplois et d'infrastructures mais aussi par la valorisation de l'image des littoraux. L'essor des pratiques balnéaires est en effet lié à un rapport nouveau de la société au temps libre et aux bords de mer (Corbin 2001). La fréquentation touristique a rapidement crû avec la démocratisation du tourisme, initialisée par le droit aux congés payés qui s'est généralisé dans les années 1930 en Europe. Le développement du tourisme balnéaire est caractérisé par des appropriations extérieures : une partie des terres et des économies locales devient dépendante de propriétaires, d'intérêts économiques et de clientèles issus des pôles démographiques des régions septentrionales et des grands pôles économiques de la planète (Courtot 2003). La littoralisation de l'Arc Latin se caractérise ainsi par un développement démographique et économique lié à des espaces et des populations (migrants, touristes, investisseurs) dépassant le cadre de ses littoraux. Cette puissante source de développement exogène fait de l'Arc Latin une façade « fortement soumise à un système de déterminations extérieures, au détriment des relations internes » (Grasland 1994). Ces évolutions ont parallèlement mené à une nette individualisation de l'Arc Latin par les fortes densités de population des provinces et départements de son littoral (Figure I-6).



(*) La densité de la population est le rapport entre la population (moyenne) et la superficie terrestre. La superficie terrestre est la superficie totale sans les eaux intérieures. Pour Bulgarie, Danemark, Allemagne, France, Chypre, Pologne et Portugal, la superficie totale a été utilisée à la place de la superficie terrestre; Pologne, par région NUTS 2; Royaume-Uni, 2007.

Figure I-6. Carte des densités de population par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011)

À une échelle plus fine, la topographie des littoraux nord-méditerranéens contribue en outre « structurellement » à favoriser la concentration de la population sur la côte. En effet, les zones côtières présentent souvent un contraste marqué entre des ensembles de collines, plateaux et montagnes d'une part, et des plaines littorales et fluviales étroites d'autre part. La population et les activités se concentrent ainsi sur une bande littorale dont la taille dépend en particulier du relief (Plan Bleu 2002).

En conclusion, la littoralisation « procède non seulement de mécanismes complexes (économie, industrie, tourisme, démographie...) mais relève d'échelles différentes qui restent pour l'instant sans véritables frontières » (Dinard 1999). L'attractivité des littoraux résulte de la combinaison et de l'articulation de processus à différentes échelles : macro-échelle

(mondialisation des échanges économiques, maritimisation de l'économie, formation d'un marché agricole mondial), méso-échelle (évolutions des sociétés européennes liées à l'augmentation du niveau de vie, développement d'une civilisation des loisirs, politiques nationales et européennes de modernisation de l'agriculture, de valorisation des littoraux et d'amélioration de l'accessibilité) et micro-échelle (déclin de l'économie rurale des arrière-pays en incapacité à s'adapter à l'agriculture moderne, création d'emplois sur le littoral liée au développement du secteur secondaire et tertiaire, relief). C'est une convergence de processus exogènes et de bouleversements locaux qui ont été créateurs d'opportunités de développement au niveau des littoraux de l'Arc Latin. L'attractivité des régions côtières a par la suite contribué à renforcer la littoralisation.

1.1.2. Maintien et renforcement de la littoralisation

La littoralisation n'a cessé de s'intensifier sur l'Arc Latin au cours du XX^e siècle, les littoraux rassemblant un nombre toujours plus important d'hommes et d'activités. Les facteurs de l'attractivité côtière se sont accentués et ils se sont aussi diversifiés. Le développement des zones littorales a renforcé leur propre attractivité, faisant de la littoralisation un processus « auto-alimenté ». Les bassins d'emploi les plus développés sont ceux dont la base économique a été diversifiée ou renouvelée, en l'adaptant aux formes dominantes de la croissance actuelle (Loinger et Dubois 2001). Le passage à une société post-industrielle s'est en effet traduit par la perte des anciennes fonctions industrialo-portuaires dans beaucoup de villes-ports (par exemple, en France, la Seyne-sur-Mer, La Ciotat ou encore Sète-Frontignan) (Robert 2009). Dans les villes comme Barcelone, Marseille et Gênes, des activités industrielles et de service se sont greffées aux fonctions portuaires, qui cessent d'être la base économique unique ou principale.

Le développement touristique a pris trois formes principales qui ne sont pas forcément en lien avec les fonctions et structures urbaines préexistantes. D'une part, de nombreux petits centres urbains du littoral italien, espagnol et français se sont adaptés de manière à profiter de l'essor du tourisme balnéaire. Ils sont devenus des stations balnéaires par la réalisation de programmes immobiliers mettant en place de nouveaux quartiers, greffés au noyau villageois préexistant (Dewailly et Flament 1998). Quand le tourisme devient l'activité principale, la réorientation des fonctions de la ville correspond à une « subversion » du lieu par le tourisme (Equipe MIT 2002). Le cas de Benidorm est à cet égard emblématique, passant en cinquante ans d'un village de pêcheurs et de paysans de 3000 habitants à une cité touristique de 70 000 habitants, accueillant plusieurs millions de touristes chaque année. Le plan d'urbanisme approuvé par la municipalité en 1956 constitue le tournant vers cette spécialisation touristique, qui sera par la suite soutenue par l'ouverture de l'aéroport d'Alicante-El Altet en 1967. D'autre part, des stations balnéaires ont été créées *ex nihilo* et entièrement planifiées :

ce sont des « lieux spécifiques créés par et pour le tourisme » (Sacareau 1999). Ces créations concernent souvent des sites jusque là délaissés comme les zones de remblaiements marécageux, les côtes à lido avec de grandes zones d'étangs et de lagunes, tels qu'on les trouvait dans le Languedoc ou en Toscane. Ces stations balnéaires, nécessitant de grands travaux de mise en valeur des plaines côtières, ont été réalisées dans le cadre de politiques d'aménagement planifié du littoral et de développement touristique. En France, l'édification des nouvelles stations touristiques languedociennes à la fin des années 1960 (La Grande-Motte, Gruissan, Port-Leucate, Port-Camargue, Saint Cyprien, Le Cap d'Agde, Port Barcarès) s'est inscrite dans un programme étatique d'aménagement et de mise en valeur du littoral (mission Racine créée en 1963) qui visait à concurrencer la Costa Brava. Les dessertes routières ont été refondues et la coupure est souvent marquée avec l'espace d'accueil. Enfin, le troisième grand type de configuration de station balnéaire correspond aux situations de doublets littoraux (Rieucan 2000). Dans des communes où le centre villageois est situé dans les terres, le développement de l'activité touristique balnéaire a en effet amené l'établissement d'installations nouvelles le long du rivage. Des antennes touristiques, dotées d'une appellation balnéaire (Canet/Canet-Plage en Roussillon, Grimaud/Port Grimaud sur la Côte d'Azur) se forment en bord de mer. Peu à peu, l'urbanisation tend à combler l'espace entre les deux entités, mais la partie balnéaire n'est généralement active qu'en période estivale. Le phénomène se retrouve sur la Costa Brava et la Costa del Sol. Des situations de doublets littoraux existent aussi pour des distances plus grandes (supérieures à 10 km) : il s'agit d'annexes balnéaires à de villes non littorales de taille moyenne (Montpellier et Palavas, Béziers et Valras-plage, Nîmes et le Grau-du-Roi).

L'essor des stations balnéaires, en lien ou non avec les fonctions et structures urbaines préexistantes, témoignent de la vitalité avec laquelle s'est produit le développement du tourisme de masse. La démocratisation du tourisme s'inscrit en effet dans une triple mutation : de la demande, mais aussi de l'accessibilité (développement des chemins de fer, des autoroutes et aéroports) et de l'offre (hébergement touristique, infrastructures de loisirs, etc.). Investisseurs publics et privés ont su saisir l'opportunité du développement du tourisme balnéaire. Non seulement la littoralisation s'est accrue, mais l'attractivité des littoraux s'en est elle-même trouvée renforcée. En effet, outre une massification du tourisme balnéaire, ce développement et la découverte des régions littorales par le tourisme suscitent l'implantation plus ou moins permanente de nouvelles populations, retraités et cadres supérieurs. La fréquentation touristique a favorisé la valorisation de l'image des littoraux (Plan Bleu 2001) et le développement des services nécessaires à l'installation de ces populations. Une prise en considération plus importante de la qualité du cadre de vie explique leur attrait pour les régions côtières, où l'ensoleillement et le climat sont plus favorables. L'économie résidentielle développe les activités de construction, de service et de commerce, et influe sur l'ensemble des composantes du tissu socio-économique. Des activités de recherche

scientifique et technologique et d'industrie tournée vers les hautes technologies se sont implantées dans ces environnements privilégiés, comme la technopole Sophia-Antipolis sur la Côte d'Azur, afin d'attirer les travailleurs hautement qualifiés. Elles permettent aux régions spécialisées dans les services à finalité touristique de diversifier leur économie. Cette installation de nouvelles populations et activités, consécutive au développement des littoraux, forme une rétroaction positive sur le processus de littoralisation, qui se renforce.

Le développement des littoraux, qu'il soit lié aux activités portuaires ou touristiques, va de pair avec l'urbanisation. En témoignent l'installation de grandes zones industrialo-portuaires, comme celle de Marseille-Fos-sur-Mer, ou la construction des stations balnéaires et leurs formes d'urbanisation particulière : urbanisation verticale des fronts de mer, construction d'infrastructures spécifiques (hôtels, résidences secondaires sous forme d'immeubles ou de lotissements, ports de plaisance, marina, etc.), extension urbaine en lien ou non avec les structures existantes. Le développement de l'économie résidentielle favorise également l'étalement urbain par la construction de logements. L'urbanisation est une manifestation majeure de la littoralisation, avec une progression de la population urbaine dans la seconde moitié du XX^e siècle atteignant 80 à 90% de la population totale sur la rive nord-méditerranéenne (Loinger et Dubois 2001). Urbanisation et littoralisation se renforcent mutuellement (Voiron-Canicio 1999). En effet, les noyaux urbains anciens - ports, métropoles, capitales - concentrent progressivement les équipements déterminants de la croissance urbaine, comme les grands nœuds de communication, des centres de pouvoir et une économie diversifiée (Loinger et Dubois 2001). Les aires urbaines qui se développent sur les littoraux, à partir de ces points d'ancrages urbains, sont attractives pour les investissements directs étrangers, à la recherche d'économies d'agglomération. En privilégiant les localisations dans les régions urbaines situées majoritairement le long du littoral, les investissements internationaux amplifient le poids économique des métropoles et accentuent la marginalisation des espaces intérieurs. L'attractivité des réseaux économiques et de communication des espaces littoraux développés contribue ainsi en retour aux fortes densités de population côtière (Dinard 1999).

Pour conclure, l'attractivité des littoraux conduit ainsi à un développement d'activités, mais aussi à leur renouvellement et à leur diversification, du fait des avantages de situation initiaux et additionnels, faisant de la littoralisation un processus « auto-alimenté ». C'est un composite de différents facteurs, fonctionnels et culturels (Loinger et Dubois 2001), qui explique le phénomène de littoralisation. Néanmoins, comme le souligne L. Grasland (1994), l'Arc Latin est « en réalité très hétérogène, avec des disparités spatiales et des disparités de croissance marquées », soulevant une « problématique d'intégration spatiale à l'échelle de la zone entière ». Le développement des littoraux se base essentiellement sur le tourisme, l'économie résidentielle et la croissance démographique (Robert 2009). Il favorise la

littoralisation et le développement de l'urbanisation et se trouve ainsi à l'origine de conséquences territoriales de différentes natures.

1.1.3. Conséquences territoriales

Si la littoralisation correspond à un développement économique des littoraux, l'intensité du phénomène et la réorganisation spatiale qu'elle implique ont des conséquences affectant de multiples aspects des territoires. Certains auteurs définissent d'ailleurs de façon négative la littoralisation. Mettant l'accent sur l'intervention d'acteurs externes au littoral, G. Wackermann la définit comme « l'action intempestive entreprise par les hommes dotés de puissants moyens techniques, puis technologiques, en vue de l'appropriation économique des secteurs côtiers » (Wackermann 1998a). Les conséquences territoriales de la littoralisation se manifestent en termes de conflits d'usages et de tensions foncières, de pression urbaine et d'artificialisation des milieux et enfin de déséquilibres socio-économiques.

▪ Conflits d'usages et tensions foncières

L'attractivité exercée depuis des décennies par les régions méditerranéennes est source de développement mais aussi cause de déséquilibres territoriaux (Voiron-Canicio 1993). La coexistence d'usages du littoral de natures diverses (tourisme, pêche, industries, ports, habitats, zones naturelles protégées, etc.) génère des conflits. Les zones côtières font ainsi partie des lieux où les pressions anthropiques sont les plus concentrées et où les conflits actuels et potentiels d'utilisation du sol sont les plus critiques (Plan Bleu 2002). La concentration des hommes et des activités sur les littoraux provoque une forte concurrence entre les usages. L'espace y étant un bien rare, les tensions sur les marchés foncier et immobilier s'accroissent entre la demande touristique et la demande locale (Buhot *et al.* 2009). La pression démographique se traduit par des prix élevés du foncier et de l'immobilier, portés par une demande étrangère supérieure à la moyenne nationale. Ces rapports de force peuvent aboutir à de nouvelles formes de ségrégation socio-spatiale. Au cours des dernières décennies, le développement de l'activité touristique a été à l'origine de l'émergence de « villes-régions côtières » (Wackermann 1998a). L'urbanisation s'effectue au détriment des anciens usages plus faiblement rémunérateurs qui n'ont plus leur place dans cette nouvelle logique de développement. Les terres agricoles et les milieux naturels, de plus en plus insérés dans des territoires urbains, se maintiennent difficilement alors qu'ils contribuent à l'équilibre du littoral (IFEN 2007). L'agriculture joue en effet un rôle essentiel dans la structuration du paysage et du territoire en contribuant à l'entretien des sols et au maintien d'un espace ouvert.

▪ Pression urbaine et artificialisation des milieux

Le processus de littoralisation conduit quasi inéluctablement à l'artificialisation des milieux, par des constructions ou par des restructurations (Plan Bleu 2007). Les espaces

convoités sont des espaces fragiles et limités, connaissant de fortes dégradations environnementales. Alors que la valeur des écosystèmes littoraux méditerranéens est jugée inestimable, les processus d'artificialisation sont à l'origine d'une destruction des sols agricoles et des petits fonds marins, d'un dérèglement du régime des eaux avec des risques d'inondations importants ou encore d'une aggravation de l'érosion côtière (Plan Bleu 2005). L'interface terre-mer est restructurée pour accueillir des équipements destinés principalement aux activités touristiques (ports de plaisance, marinas, routes parallèles aux rivages, etc.), avec des empiétements sur le domaine maritime (structures de défense contre la mer, terre-pleins) (Dagorne 1995). Les activités polluantes sont nombreuses : activités industrielles, trafic maritime, trafic routier, etc. Outre la dégradation des écosystèmes littoraux, les paysages traditionnels sont en effet dégradés par le mitage, c'est-à-dire le morcellement de l'espace par de nouvelles constructions. La volonté de profiter des aménités environnementales et paysagères des zones côtières a conduit à un urbanisme qui va à l'encontre même de la nature littorale : cet urbanisme est « plus étalé que dans le reste de la France et fortement consommateur d'espaces choisis parmi les plus proches du rivage », recelant « de fortes irréversibilités, notamment en matière de transports (usage dominant de la voiture) » (DIACT 2004). L'extension des surfaces artificialisées entraîne une dégradation importante de la qualité de l'eau et une diminution des nappes souterraines.

▪ Déséquilibres socio-économiques

Enfin, la littoralisation accentue les déséquilibres socio-économiques entre la bande côtière et les territoires à l'intérieur des terres. En effet, l'attraction de la côte s'oppose au déclin progressif de l'agriculture dans le moyen et arrière-pays (Wackermann 1998b) et le développement des littoraux se fait au détriment des zones de l'intérieur. La densification des littoraux se poursuit aujourd'hui en se complexifiant, avec l'urbanisation croissante du moyen et de l'arrière-pays littoral (Voiron-Canicio 1994). Le développement de la bande littorale a conduit à d'importantes disparités avec l'arrière-pays mais la progression urbaine actuelle dirigée vers l'intérieur des terres ne constitue pas forcément un facteur de rééquilibrage. Certaines fonctions seulement s'installent dans la zone rétro-littorale (la fonction résidentielle principalement), qui est ainsi dépendante de la zone littorale (par exemple pour les emplois). La littoralisation entraîne ainsi certains effets pervers au niveau du proche arrière-pays, avec notamment des mutations territoriales et de nouveaux déséquilibres. Parmi ceux-ci, on peut citer les migrations pendulaires, la ségrégation résidentielle, ou encore la disparition d'une économie locale. Ces effets ont d'importantes répercussions comme la dégradation du cadre de vie urbain, le coût croissant des infrastructures urbaines, ou encore l'accroissement des disparités entre les sociétés littorales traditionnelles et une nouvelle société constituée de retraités, résidents secondaires et cadres (DIACT 2004).

Ces conséquences territoriales ont été analysées par différentes études mesurant les pressions s'exerçant sur les littoraux, avec pour certaines un suivi dans le temps et un volet prospectif. Le Plan Bleu tient à cet égard une place importante à l'échelle de la Méditerranée. Le Plan Bleu est un Centre d'Activités Régionales (CAR/PB) du Plan d'Action pour la Méditerranée (PAM), lui-même placé sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). Dès 1989, le Plan Bleu alertait les décideurs et les différents acteurs sur les risques environnementaux et les enjeux de développement durable en Méditerranée dans l'ouvrage "Le Plan Bleu, avenir du bassin méditerranéen" où les devenir possibles du bassin méditerranéen étaient esquissés (Plan Bleu 1989).

Dans les années 2000, la littoralisation est étudiée à travers des approches globales basées sur des ensembles d'indicateurs structurés et élaborés en vue d'un développement durable (EEA 1999, 2006, Brandt 2003, DEDUCE consortium 2007, Plan Bleu 2002). La méthode adoptée consiste à analyser des ensembles d'indicateurs construits selon la structure causale du modèle DPSIR (*Driver - Pressure - State - Impact - Response*¹), utilisé dans l'étude des interactions société-environnement (Smeets *et al.* 1999). Selon le Plan Bleu (2002), le développement durable des régions côtières nécessite la définition et l'utilisation d'indicateurs qui permettront de suivre la situation de la zone côtière (État), mais aussi l'évolution des activités humaines les plus influentes (Pressions) et des politiques mises en œuvre (Réponses). Sur les 130 indicateurs sélectionnés lors des travaux de la Commission Méditerranéenne du Développement Durable et adoptés par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone² en 1999, 52 ont été considérés par le Plan Bleu comme pertinents pour les régions côtières méditerranéennes (Plan Bleu 2002). Parmi les 7 indicateurs du thème « Littoral et littoralisation » :

- trois sont de type « Pression » (linéaire côtier artificialisé/linéaire côtier total, nombre de nuitées touristiques/linéaire côtier, nombre d'anneaux dans les ports de plaisance),
- trois sont de type « État » (taux de croissance de la population dans les régions côtières méditerranéennes, densité de la population dans les régions côtières, érosion côtière),
- le dernier est de type « Réponse » (superficie des zones protégées côtières).

Concernant la littoralisation, trois nouveaux indicateurs ont par la suite été rajoutés (Plan Bleu 2007) : la croissance de la population dans les villes côtières, l'artificialisation par les infrastructures de transports (par type de transport) et la surface construite par habitant. Les autres nouveaux indicateurs permettent de mieux prendre en compte l'environnement (les pollutions, les pertes de biodiversité), le patrimoine (les menaces et sa valorisation) et concernent aussi une nouvelle thématique : les impacts du changement climatique.

¹ Forces directrices - Pressions - État - Incidences - Réponse

² La convention de Barcelone (1976) vise à réduire la pollution dans la zone de la mer Méditerranée, à protéger et améliorer le milieu marin dans cette zone en vue de contribuer à son développement durable.

En 2005, l'expérience de la prospective a été renouvelée au sein de l'ouvrage "Méditerranée, les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement" (Plan Bleu 2005) dont le diagnostic confirme la plupart des tendances lourdes qui avaient été annoncées. Il s'appuie sur un scénario tendanciel et un scénario alternatif, qui repose sur une logique d'anticipation et d'intégration, pour explorer les six enjeux stratégiques retenus : l'eau, l'énergie, les transports, les espaces urbains, l'espace rural, le littoral. Pour le littoral, le scénario tendanciel annonce une saturation de nombreux espaces côtiers avec l'artificialisation de près de 50 % des côtes méditerranéennes et des pertes de qualité territoriale. Le rapport montre que les politiques ont été jusque-là insuffisantes pour renverser les tendances lourdes et qu'une des principales conclusions du rapport de 1989 est toujours d'actualité en 2005 : « Si le processus de développement vient en général dégrader l'environnement, en Méditerranée, la dégradation de l'environnement tend en retour à freiner voire à compromettre le développement en raison de la rareté de l'eau, de l'intensité de la dégradation ».

1.2. Un développement des littoraux peu anticipé

1.2.1. Faiblesses de l'encadrement de l'urbanisation littorale

Face aux enjeux territoriaux soulevés par la littoralisation pour le devenir des zones côtières, la nécessité de freiner l'urbanisation et de préserver certaines zones naturelles et agricoles est progressivement apparue. B. Cori (1999) souligne le défi que représentent le contrôle de processus spatiaux « spontanés » et la mise en place d'une planification de l'espace équilibrée entre développement et protection. Du fait de la forte attractivité des littoraux, la pression de l'urbanisation est persistante et le développement des littoraux est difficile à maîtriser. Ces transformations sont intervenues sur une période extrêmement courte et sont concentrées sur un espace restreint, expliquant leur « difficile absorption » par les structures territoriales en place (CETE Méditerranée 2007). En outre, le développement de l'urbanisation, des infrastructures et du tourisme de masse ont été largement acceptés et encouragés avec un « laissez-faire » qui n'a cessé qu'après que d'importants changements environnementaux aient affecté la Méditerranée (Cori 1999). Les dispositifs réglementaires visant à encadrer l'urbanisation des littoraux sont plus développés en France qu'ils ne le sont en Italie et en Espagne (Robert 2009). Néanmoins, partout leur création et leur application ont été confrontées à des obstacles, et leur efficacité limitée du fait d'un manque d'anticipation.

En Italie, l'absence de cadre législatif et réglementaire suffisant a favorisé la construction illégale, confortée par des amnisties répétées accordées par l'État (Courtot et

Perrin 2005). L'État italien est relativement absent de la scène littorale ou agit plutôt en faveur de l'urbanisation littorale, comme le montre l'assouplissement des règles de la domanialité publique maritime en 2005 (Rochette 2008). D'après J. Rochette (2011), les littoraux ne sont « jamais le sujet central d'un régime juridique mais l'objet incident d'une réglementation applicable à un espace plus réduit – le domaine public maritime – ou à une discipline plus large, le paysage ». Outre l'absence de reconnaissance de la spécificité des milieux côtiers, leur protection est laissée à l'initiative des autorités régionales qui possèdent de larges compétences mais aussi un intérêt inégal pour la problématique. Toujours selon J. Rochette (2011), le régime juridique en matière de protection du littoral est insuffisant, morcelé et s'apparente à une « décentralisation de type "laissez-faire" ». R. Courtot et C. Perrin (2005) rappellent comment l'absence d'instruments d'urbanisme adéquats, du fait des compétences partagées entre les communes, les Provinces et la Région, a conduit chaque ville de l'aire métropolitaine florentine à construire son schéma directeur (*piano regolatore generale*) indépendamment des autres dans les années 1960. Le Schéma Structurel pour l'Aire Métropolitaine Florence-Prato-Pistoia n'a abouti qu'en 1990, soit trop tardivement puisque la plupart des terres agricoles avaient entre-temps été urbanisées (Courtot et Perrin 2005).

En Espagne, le caractère peu contraignant du droit de l'urbanisme, délégué au niveau régional, et la permissivité des autorités locales face à la spéculation touristique expliquent un faible encadrement de l'urbanisation littorale. Pour V. Gozávez *et al.* (2005), à propos des premières décennies du développement touristique et résidentiel des communes alicantines d'Elche et de Santa Pola, « l'autorité locale était réduite à un simple instrument de ratification légale des projets présentés par les promoteurs ». Malgré la *Ley de costas*, promulguée en 1988, et la *Dirección General de Costas*, sous l'autorité du Ministère de l'Environnement depuis 1996, la réglementation demeure peu efficace. En témoignent les lotissements de Manilva construits à proximité immédiate du rivage, quand bien même la *Ley de costas* préconise une bande non constructible de 100 mètres de large au minimum à partir du rivage (Robert 2009).

En France, depuis les lois de décentralisation de 1982, les communes décident des zones constructibles lors de la conception de leur Plan d'Occupation des Sols. Les POS vont connaître des dérives liées à l'« opportunité unique de renaissance démographique, économique et sociale » que constituait la périurbanisation pour les communes rurales de l'arrière-pays à cette époque (Daligaux 2001). Les élus locaux vont encourager la périurbanisation à travers les POS et en faire la base du développement communal (Daligaux 2001). Les élus ont souvent privilégié le développement d'un habitat diffus à travers la multiplication des zones NB (Courtot et Perrin 2005). Celles-ci devaient servir à entériner l'existence de secteurs mités, mais ce principe a été largement dévoyé par leur extension à de vastes secteurs vierges de constructions. Plus généralement, le développement de

l'urbanisation littorale est « mal maîtrisé et ne respectant pas toujours le droit de l'urbanisme, avec des situations allant de l'urbanisation sauvage (cabanes du Midi méditerranéen, plus ou moins anciennes), au contournement de la loi (pas de déclarations de travaux ou de demandes de permis de construire pour des extensions, “caves” qui se transforment en rez-de-chaussée, durcissement des campings...) » (DIACT 2004). Les dérives illégales ont été exacerbées par l'importance des enjeux financiers (Courtot 2003). Elles ont « largement contribué à une réaction pro-environnementale forte, à la fois locale et nationale, sociale et juridique » (Daligaux 2001). Cette réaction pro-environnementale a conduit à des contrôles plus rigoureux de la légalité des documents d'urbanisme, à de nouvelles lois et à un changement de comportements des élus, notamment parce que l'urbanisation diffuse a généré des coûts importants de viabilisation pour les communes (Daligaux 2001). La Loi Littoral, adoptée en 1986, limite l'extension de l'urbanisation sur la frange littorale (bande des cent mètres à partir du rivage inconstructible), prévoit des coupures d'urbanisation et protège les espaces naturels remarquables et les espaces boisés. Malgré des imprécisions sémantiques à l'origine de conflits juridiques (espaces remarquables, espaces proches du rivage, etc.), ce texte a globalement eu « une influence tout à fait efficace pour maîtriser l'artificialisation des côtes françaises » (Robert 2009), en favorisant la densification et une urbanisation plus en retrait de la mer, moins fréquemment en site vierge (DIACT 2004). Avec la loi d'orientation Solidarité et Renouvellement Urbain du 13 décembre 2000, les POS sont remplacés par les plans locaux d'urbanisme (PLU), nécessitant un projet d'aménagement et de développement durable et ne comportant plus de zones NB, ce qui pose aujourd'hui un problème financier et électoral pour la plupart des communes provençales (Courtot et Perrin 2005). Cependant, ces réglementations de l'urbanisation sont apparues trop tardivement (Courtot 2003) pour instaurer un usage économe de l'espace.

1.2.2. Maîtrise foncière et périmètres de protection, derniers remparts face à la pression urbaine

Par ailleurs, des dispositifs de protection spécifiques aux espaces naturels ont été développés par les États espagnol, italien et français afin de maintenir l'équilibre entre les différents usages du sol. Les zones protégées ont commencé à se répandre à partir des années 1970. G. Cortesi *et al.* (1996) dénombrent une cinquantaine de parcs nationaux et régionaux sur l'Arc Latin. Cependant, comme le note B. Cori (1999), la plupart sont situés dans des zones montagneuses et non dans des espaces côtiers et maritimes. C'est notamment le cas en Espagne et en Italie, qui présente néanmoins plusieurs réserves le long de la côte tyrrhénienne (parc national de Circeo dans le Latio et les parcs naturels de San Rossore et Maremma en Toscane) et diverses aires protégées en Sicile. Sur la côte méditerranéenne française, les parcs nationaux sont situés à proximité d'espaces densément peuplés ou sous forte pression touristique, comme le Parc National de Port-Cros et le récent Parc National des Calanques. Ils

s'insèrent en outre dans un ensemble de parcs régionaux et de nombreuses réserves naturelles, à la fois terrestres et marines.

Face aux multiples formes de dévoiement affectant l'encadrement de l'urbanisation, seule l'acquisition d'un espace non-construit par un organisme public semble pouvoir garantir son intégrité. Selon le Plan Bleu (Plan Bleu 2000), « les seules mesures de protection des littoraux réellement efficaces sont celles qui relèvent de protections foncières (État, département, forêt domaniale et publique, Ministère de l'Environnement, Conservatoire du Littoral) ». Cependant, les prix du foncier limitent les interventions locales, les communes n'ayant généralement pas les moyens pour mener une politique foncière. Alors que l'échelle intercommunale semblerait plus adaptée à la gestion de l'étalement urbain, les communes riches ne voient pas toujours l'intérêt d'une intercommunalité intégrant des communes d'arrière-pays (Courtot et Perrin 2005). Le Conservatoire du Littoral, établissement public créé en 1975, mène quant à lui une politique foncière efficace à l'échelle nationale, dont l'objectif est la protection définitive des espaces naturels et des paysages sur les rivages maritimes et lacustres. Le Conservatoire acquiert des sites menacés, présentant des caractéristiques écologiques et paysagères remarquables. En 2013, le domaine relevant du Conservatoire du littoral est de 153 000 hectares, soit plus de 1500 km de rivages, et plus de 12% de linéaire côtier français. En Espagne et en Italie, il n'existe pas d'établissement public foncier dédié au littoral au niveau national. Seule la région autonome de Sardaigne a mis en place un *Conservatoria delle Coste* en 2007, sur le modèle du Conservatoire du littoral (Scovazzi 2009).

Avec les dispositifs de protection, les politiques publiques prennent « un rôle défensif, cherchant à préserver ce qui pouvait l'être, sans avoir vraiment les moyens d'infléchir suffisamment les dynamiques en cours » (DIACT 2004). Ils constitueraient ainsi une réponse face à un état d'urgence, un dernier « rempart » face aux dynamiques d'urbanisation. Soustraire les espaces naturels remarquables aux dynamiques territoriales pourrait mener à terme à une dichotomie du territoire entre espaces protégés sanctuarisés et espaces urbanisés. Pour éviter cet écueil, le Conservatoire du Littoral et les parcs naturels s'emploient à mettre en valeur les terrains qu'ils acquièrent (agriculture, apiculture, accueil du public sur certains sites, etc.). Le Conservatoire du Littoral répond ainsi à un double objectif : protéger le littoral et développer les activités économiques qui lui sont liées. Ces deux objectifs peuvent être antagonistes lorsque les activités conduisent à une dégradation des sites. Néanmoins, ils peuvent être complémentaires si l'attractivité est liée à la qualité environnementale des sites (DIACT 2004). Avec la demande croissante de « nature » des citoyens, les espaces naturels acquièrent de nouvelles fonctions qui favorisent cette mise en valeur (Courtot et Perrin 2005). Toutefois, la progression des périmètres protégés pose problème par la raréfaction des surfaces susceptibles d'être ouvertes à l'urbanisation : la pénurie de terrains à bâtir risque de

bloquer le développement local et de reporter sur l'arrière-pays la demande foncière et la spéculation (Courtot et Perrin 2005). La raréfaction des espaces disponibles renforce des tensions foncières déjà aiguës et amène les élus à demander certains assouplissements des réglementations de l'urbanisme. Selon J. Daligaux (2001), « on aboutit à une réduction drastique du potentiel de constructibilité, voire dans certaines communes à un véritable blocage spatial qui ne laisse d'autre choix que de densifier les espaces déjà urbanisés et consommer les terres agricoles ». Selon C. Napoléone (cité par Rangheard 2005), « une protection définitive du foncier avec un conservatoire des espaces agricoles » serait là aussi nécessaire pour endiguer la disparition des terres agricoles et favoriser la densification des zones urbaines. Les moyens qu'il faudrait conférer à un tel organisme pour qu'il puisse assumer sa mission rendent néanmoins difficilement réalisable cette préconisation, ce qui constitue la limite de ce type de politique. C'est pour répondre au défaut de vision globale dans la gestion des littoraux que s'est développé le concept de gestion intégrée des zones côtières.

1.2.3. Un développement progressif et inégal des programmes de GIZC

La Gestion Intégrée des Zones Côtières est définie comme un « processus dynamique qui réunit gouvernement et société, science et décideur, intérêts publics et privés en vue de la préparation et de l'exécution d'un plan de protection et de développement des systèmes et ressources côtières » (Cicin-Sain et Knecht 1998, traduit dans Meur-Ferec 2007). Son objectif est de répondre aux problèmes posés par la densification croissante des activités humaines (urbanisation, activités touristiques, aménagements routiers, surexploitation de ressources naturelles, dégradation des milieux naturels littoraux, etc.) alors que les pressions tendent à s'accroître et que la menace d'une montée du niveau de la mer apparaît (IFEN 2007). Il semble que seule une approche transversale peut permettre de prendre en compte la complexité du littoral. Ainsi, l'intégration est érigée comme principe directeur de la GIZC, concernant non seulement les thématiques, les acteurs, les échelles de temps, mais aussi les espaces et leurs relations (prise en compte des arrière-pays et de l'interface terre-mer). Initialement confrontée à des réticences et souvent questionnée (Guineberteau *et al.* 2006, Meur-Ferec 2009), la GIZC constitue désormais le paradigme central du développement durable des littoraux (Billé 2006). Concept peu opérationnel, la GIZC est un processus difficile à implémenter et ses programmes connaissent un développement très progressif et inégal. Sa mise en œuvre est issue de préconisations internationales (conférence des Nations unies sur l'environnement et le développement de Rio de Janeiro en 1992 et sommet mondial sur le développement durable de Johannesburg en 2002), mais aussi communautaires avec la Recommandation du Parlement et du Conseil Européen du 30 mai 2002 relative à la mise en œuvre de stratégies nationales de GIZC en Europe. À partir des années 1990, des programmes

de GIZC ont été organisés dans le cadre du Plan d'action pour la Méditerranée et relayés par la suite au niveau national.

Analysant les réponses à l'appel à projet « Pour un développement équilibré des territoires littoraux par une GIZC » lancé par l'État français en 2005, C. Meur-Férec (2007) observe une grande mobilisation sur l'ensemble des littoraux français, une forte présence des intercommunalités, des partenaires nombreux et variés, une intégration aux politiques existantes (notamment aux SCOT). L'auteur signale cependant la faiblesse des dimensions économique et sociale face au volet environnemental, une adhésion variable aux critères de la GIZC et une difficulté dans l'articulation entre global et local au niveau institutionnel.

En Italie, l'incapacité de l'État à mettre en œuvre une stratégie nationale pour le développement durable des zones côtières conduit certaines autorités régionales à adopter des plans de gestion intégrée des zones côtières (Rochette 2008). C'est le cas de la région Ligurie en 2000, de la région Emilie-Romagne en 2005 et de la région Pouilles en 2006. C'est la région Sardaigne qui est la plus engagée : outre le Conservatoire des côtes, le plan régional du paysage adopté en 2006 délimite la zone côtière protégée et y établit des règles d'urbanisme restrictives (Scovazzi 2009). Ces initiatives régionales sont généralement pertinentes mais n'assurent pas la mise en œuvre d'une politique littorale cohérente, certaines régions n'ayant développé aucune réglementation propre à cet espace (Rochette 2008).

Selon J. J. Ruiz (2009), la stratégie de GIZC présentée par l'État espagnol en 2006 constitue une avancée notable mais il souligne néanmoins le manque de considération vis-à-vis de certains éléments importants de la recommandation européenne, dont le principal est l'absence de référence directe aux mesures stratégiques pour limiter l'urbanisation des zones côtières. L'élaboration d'une stratégie nationale sur la gestion intégrée des zones côtières devrait être suivie par une action politique, législative et administrative plus ambitieuse pour arriver aux résultats projetés (Ruiz 2009).

Selon M. Prieur (2009), le bilan dressé par la Commission européenne sur l'application de la recommandation de 2002 n'est pas très prometteur : un manque de droit adapté à la problématique de la gestion intégrée, une absence de véritables stratégies nationales, des expériences de gestion intégrée le plus souvent ponctuelles et sectorielles, et une quasi-absence de macro-projets de GIZC à l'échelle d'une région, d'un bassin ou d'une façade maritime. Selon M. Prieur (2009), le passage à l'échelle locale nécessite non seulement une longue démarche et une volonté des acteurs de travailler ensemble mais aussi une vraie légitimité fondée sur du droit qui rendra possible sa réalisation concrète. Les politiques jusqu'alors proposées par les Parties contractantes à la Convention de Barcelone (1995) s'étaient traduites par une multitude de lignes directrices et de recommandations non contraignantes pour les États, avec des effets limités. Adopté en 2008, le Protocole relatif à la gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée (Protocole GIZC) est le premier

instrument juridique supranational visant spécifiquement la gestion des zones côtières (Rochette *et al.* 2012). Cette nouvelle étape devrait être garante d'une application plus effective sur le terrain (Rochette *et al.* 2012). Cependant, la GIZC ne se décrète pas : elle ne peut s'accomplir que lorsque les conditions sont réunies (Ghezali 2010). Face aux difficultés de mise en œuvre de la GIZC du point de vue du droit et de l'organisation administrative (sectorisation des collectivités et des modes de gestion, « mille-feuille » administratif, etc.), le protocole vise à assurer une participation de l'ensemble des échelons décisionnels au processus de GIZC, sous la direction stratégique des autorités nationales. Le Plan d'action pour la mise en œuvre du Protocole GIZC a été adopté en février 2012. La généralisation des programmes de GIZC est un processus long. Le développement de programmes de GIZC reste actuellement fortement inégal et limité à des opérations ponctuelles émanant de « territoires littoraux particulièrement « matures », conscients des enjeux liés à la gestion concertée et intégrée du littoral » (Robert 2009).

Pour conclure, l'encadrement des dynamiques d'urbanisation littorale est caractérisé par son manque d'anticipation et de prise en compte des spécificités locales. D'une part, l'encadrement des dynamiques d'urbanisation littorale s'est souvent traduit par un « laissez-faire » lié aux enjeux financiers et électoraux. Cette inertie est à la base de la mise en place tardive de la réglementation et de son application effective. D'autre part, la mise en place d'un contexte institutionnel et juridique favorable à une gestion transversale des littoraux est un processus long et complexe. Enfin, les mesures prises pour limiter l'urbanisation et protéger les espaces naturels ne se sont pas révélées adaptées aux contextes locaux de littoralisation avancée et n'ont pas anticipé leurs propres impacts à la fois sur les littoraux en termes de tensions foncières, et sur les espaces non protégés et les arrière-pays à travers des phénomènes de report de la pression urbaine. Ainsi, selon C. Voiron-Canicio (2005), « les mesures prises pour limiter l'urbanisation débridée et la dégradation des sites des espaces littoraux convoités ont généré des effets pervers préjudiciables au développement durable », puisque « le proche arrière-pays se trouve aujourd'hui aux prises avec l'étalement urbain, des conflits d'usage et des dégradations environnementales et paysagères aussi irréversibles que celles subies par le littoral ». C'est une question d'équilibres spatiaux au sein d'un territoire qui est posée, eux-mêmes liés à des équilibres environnementaux, économiques et sociaux. C'est également une question d'anticipation des dynamiques de littoralisation, dans un contexte d'anthropisation avancée des littoraux. Outre une nécessaire prise en considération des arrière-pays, qui constitue un des principes de la GIZC, les dispositifs de régulation de l'urbanisation littorale devraient ainsi intégrer leurs potentiels effets de report et les dynamiques de littoralisation en cours et à venir. **Ces éléments de réflexion sont à l'origine de cette thèse, dont l'un des principaux objectifs est le développement d'une connaissance prospective des processus de littoralisation de l'Arc Latin.**

1.3. Des processus de littoralisation différenciés au niveau spatial et temporel

1.3.1. De la concentration à la saturation du littoral, un modèle spatial

Du point de vue des processus de densification, la littoralisation est marquée par trois dynamiques spatiales successives. Dans un premier temps, l'attraction se concentre en un ou plusieurs pôles urbains disséminés sur le littoral : villes, ports, stations touristiques. Par exemple, en 1975, dans la région de Marbella-Malaga (Figure I-7), l'urbanisation est concentrée autour des villes de Marbella, Fuengirola, Torremolinos et Malaga.

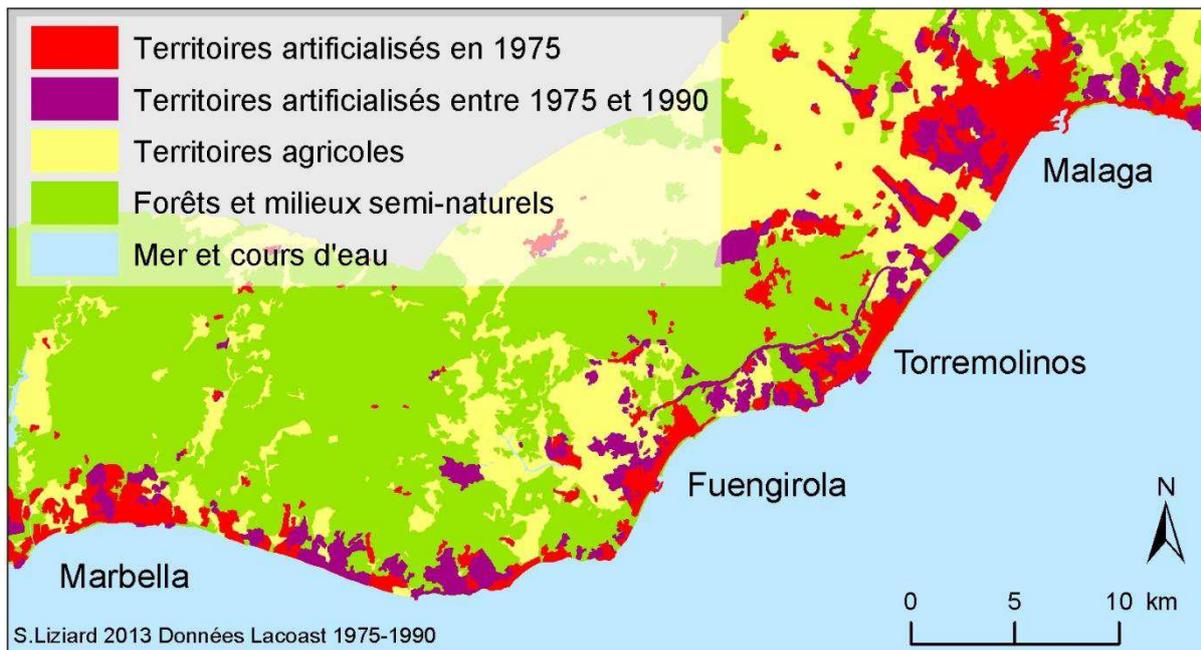


Figure I-7. Evolution de l'occupation des sols sur une bande côtière de 10 km dans la région de Marbella-Malaga entre 1975 et 1990 (données issues du programme européen "Lacoast" Plan Bleu 2001)

L'urbanisation s'étend par la suite en comblant les vides interstitiels situés le long du rivage (Voiron-Canicio 1999). La littoralisation conduit à une urbanisation intense et continue de la zone côtière, où le rivage est doublé d'un « mur de béton » (Dagorne 1995). Les infrastructures sont nombreuses, quasi continues (routes à grande circulation longeant la ligne de côte) et parfois de grande taille (aéroports, ports, etc.) (Plan Bleu 2005). Dans la région de Marbella-Malaga, au sein d'une bande littorale de 1 km de profondeur à partir du rivage, les terres artificialisées sont passées de 37 % du total des terres en 1975 à 68 % en 1990 (Figure I-7) (Plan Bleu 2001). Avec le développement résidentiel et touristique, l'urbanisation du littoral aboutit à terme à la formation de conurbations côtières, aux dépens des zones agricoles et naturelles situées à proximité des côtes. D'après les prévisions du Plan Bleu, la moitié du littoral méditerranéen pourrait être artificialisée en 2025, avec des conurbations littorales de plusieurs dizaines à des centaines de kilomètres (Plan Bleu 2007).

Les conurbations côtières, d'abord étroites, tendent ensuite à s'élargir vers l'intérieur des terres. Dans la décennie 1990, en France, les croissances de population des côtes méditerranéennes (+0,39% par an dans les communes littorales) sont inférieures à celles de leurs intérieurs (+0,91% pour les cantons non littoraux de Languedoc-Roussillon et de PACA) (DIACT 2004). En valeur absolue, le littoral proche continue toutefois d'accueillir la majeure partie de l'accroissement de la population (DIACT 2004). Ce déplacement de la zone de plus forte croissance vers l'intérieur des terres s'observe aussi en termes d'artificialisation et de construction de logements. Il est d'envergure nationale puisque si sur l'ensemble des côtes françaises l'artificialisation a été élevée entre 1990 et 2000 quelle que soit la distance à la mer, c'est entre 500 et 2000 mètres de la côte qu'elle fut la plus forte (IFEN 2007). Entre 1990 et 2003, la part des arrière-pays littoraux (cantons littoraux sans leurs communes littorales) dans la construction de logements des cantons littoraux est passée de 19 % à 32 %, avec une accélération entre 1997 et 2003 (DIACT 2004).

Les causes du redéploiement des hommes et des activités vers l'intérieur des terres sont bien connues. Certains facteurs de diffusion sont communs à l'étalement urbain. Dans les agglomérations littorales comme non-littorales, les déséconomies d'agglomération incitent les citoyens à résider dans les espaces intérieurs et les entreprises à y desservir leurs activités. De nombreux facteurs favorisent ce mouvement de périurbanisation et l'éparpillement urbain qui lui est consécutif, tels que la mobilité facilitée avec la généralisation de l'automobile, les prix du foncier, ou encore le choix de la maison individuelle (Plan Bleu 2005). L'attractivité des littoraux intensifie la concurrence pour l'espace. Dans les villes touristiques littorales, les résidences secondaires sont à l'origine d'une pression considérable sur le marché de l'immobilier. En outre, la configuration d'une ville littorale est limitée, par la présence de la mer, à un « demi-modèle » de ville (un demi-cercle par rapport au modèle classique, voir Figure I-9 et Figure I-10). La raréfaction des terrains constructibles sur le littoral s'explique d'autre part par l'application de la loi Littoral en France et par les différents dispositifs de protection de la nature (IFEN 2007). Les évolutions du processus de littoralisation demeurent donc fortement liées à la problématique des relations et des avantages comparatifs entre littoral et proche arrière-pays, qui redeviennent attractifs pour certaines fonctions. Ce redéploiement intérieur, qui avait été souhaité pour réduire les disparités entre les avant et arrière-pays, est « plutôt le résultat de tensions sur le marché foncier et l'effet indirect de politiques de préservation d'espaces naturels, que celui d'une politique volontariste visant une répartition de la population plus équilibrée entre littoral et arrière-pays » (DIACT 2004). C. Voiron-Canicio et J.-P. Chéry (2005) ont proposé une modélisation systémique conceptuelle des relations entre les sous-systèmes littoral et arrière-pays pour les Alpes-Maritimes (Figure I-8). Le sous-système littoral fonctionne selon une boucle positive où urbanisation, littoralisation et croissance régionale se renforcent à tel point qu'ils génèrent des

phénomènes de saturation. Ceux-ci rétroagissent négativement sur la croissance du système littoral et la reportent vers l'intérieur des terres. Le proche arrière-pays devient très attractif, non seulement par les espaces disponibles, mais aussi, et à la différence des arrière-pays, par le développement des axes de communication et les changements survenus dans ses activités et dans les modes de vie. Les moyen-pays tendent ainsi à s'intégrer de plus en plus au sous-ensemble littoral dont la conurbation reste le moteur (Voiron-Canicio 1999). La croissance résidentielle intérieure n'efface pas les déséquilibres entre arrière et avant-pays puisqu'il y a toujours polarisation par ce dernier.

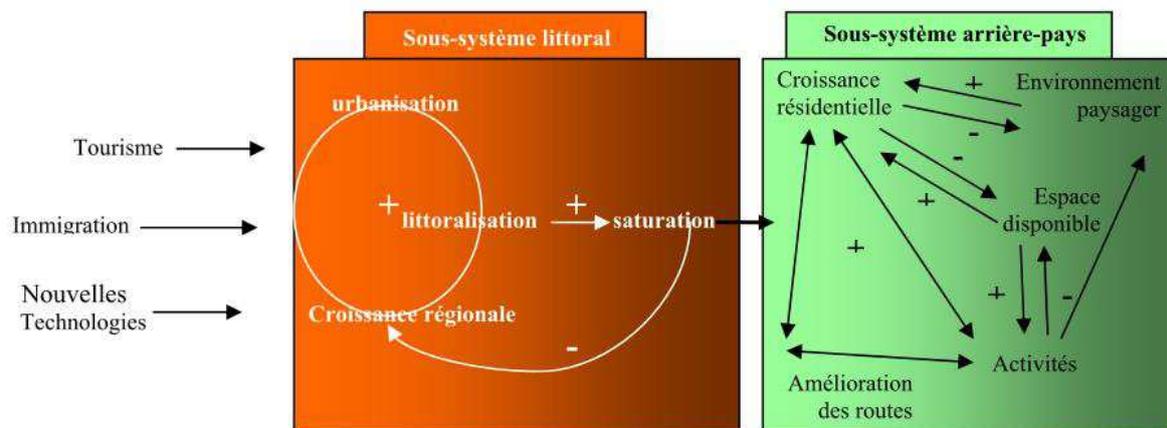


Figure I-8. Modélisation conceptuelle : graphe causal des relations entre les deux sous-systèmes spatiaux de la Côte d'Azur (Voiron-Canicio 2006)

Après avoir été fortement marquée par une croissance démographique entre 1950 et 1980 le long du littoral, la Toscane a elle aussi connu ce type de renversement. Il apparaît au recensement de 1991 : « seules 32% des communes littorales ont vu leur population progresser contre 40% des communes de l'intérieur » (Dinard 1999). Pour B. Cori et M. Lazzeroni, cette évolution est liée à la crise de l'industrialisation littorale, mais également à l'arrêt du développement touristique, signe de saturation dans une région touristique arrivée à maturité, et de politiques d'aménagement favorisant la Toscane intérieure (Cori et Lazzeroni 1995). La mise en place de nombreuses aires protégées côtières a en outre favorisé la décongestion du littoral toscan. Ces facteurs de diminution relative de l'attractivité littorale amènent B. Cori et M. Lazzeroni à suggérer la modélisation d'une phase de « délittoralisation » dans le cycle d'évolution des littoraux (Cori et Lazzeroni 1995), correspondant à l'essoufflement de leur dynamisme. Cependant, ils indiquent par ailleurs que la « crise » du littoral toscan est assez relative. Dans le contexte du déclin d'un secteur industriel localisé sur le littoral, les côtes toscanes semblent avant tout souffrir de la comparaison avec un « arrière-pays » rassemblant des villes majeures – Florence et Arezzo entre autres. Ces villes font partie de l'épine dorsale de l'Italie matérialisée par l'autoroute A1 et, avec l'axe du Valdarno, constituent une véritable aire de croissance démographique et

économique (Cori et Lazzeroni 1995). Ce développement intérieur, même s'il réduit les disparités entre le littoral et l'intérieur, est loin de correspondre à une désertion des littoraux, comme ce fut le cas pour les arrière-pays aux débuts du processus de littoralisation.

Les littoraux restent généralement denses et dynamiques, avec des taux de croissance de la population positifs, même s'ils peuvent être moins forts que par le passé (ils sont par ailleurs soumis à un effet de taille). En outre, les écarts de population restent encore considérables entre zones littorales et rétro-littorales. En France, en 1999, la population des communes du bord de mer est presque cinq fois supérieure à celle située dans la partie arrière des cantons littoraux (IFEN 2000). Si le terme de délittoralisation ne paraît pas forcément adapté, il soulève néanmoins un point intéressant quant à la délimitation et l'échelle d'observation de la littoralisation. En effet, comment appeler la diffusion spatiale d'un processus de concentration ? Même s'il y a un processus d'homogénéisation entre littoral et proche arrière-pays, il semble pertinent de considérer le fait que le report de la croissance vers l'intérieur des terres correspond à la poursuite de la logique de concentration littorale, dans un contexte de saturation de la côte. Par les activités qui s'y concentrent, les zones littorales conservent généralement le rôle de moteur de la croissance régionale (Voiron-Canicio 1999). Il s'agit en fait d'un élargissement de la zone d'attractivité et de développement vers les espaces intérieurs, décrit par le CETE Méditerranée (2007) comme un « puissant changement d'échelle » du développement littoral.

Selon C. Voiron-Canicio (1999), le report vers l'intérieur correspond à une évolution dans le stade de littoralisation et d'urbanisation atteint par une zone côtière. C'est dans les zones où l'attraction a joué le plus tôt (régions industrielles et urbaines de Barcelone, de Naples et région touristique de la Côte-d'Azur) que le littoral a atteint un seuil de saturation. Ainsi, lorsque le pourcentage avoisinait les 75% de la population en 1950, il a peu augmenté par la suite et la croissance s'est alors propagée vers l'intérieur (Voiron-Canicio 1994). Le processus d'urbanisation s'est alors élargi progressivement au moyen-pays, puis à l'arrière-pays (Wackermann 1998a). Ce redéploiement des hommes et des activités vers l'intérieur des terres apparaît comme une nouvelle étape dans l'évolution du processus de littoralisation, après les phases de concentration sur les pôles urbains littoraux et de formation d'une conurbation littorale (Figure I-9). La littoralisation se traduit par une diffusion urbaine assez semblable au processus d'étalement urbain (Figure I-10). Néanmoins le développement urbain des littoraux, du fait de la présence de la mer et de l'attractivité de la côte, a la spécificité d'être anisotropique : il est d'abord orienté en direction de certains points du littoral, puis en progression latérale le long des côtes jusqu'à leur coalescence et enfin en direction de l'intérieur des terres (Plan Bleu 2000). À la différence d'un étalement urbain pouvant être homogène et continu, le processus de littoralisation se traduit ainsi par des structures et dynamiques spatiales bien différenciées dans le temps. En outre, l'espace rétro-

littoral reste polarisé par la conurbation littorale qui se diffuse en tâche d'huile et les centres secondaires de l'intérieur peinent à devenir des foyers émetteurs.

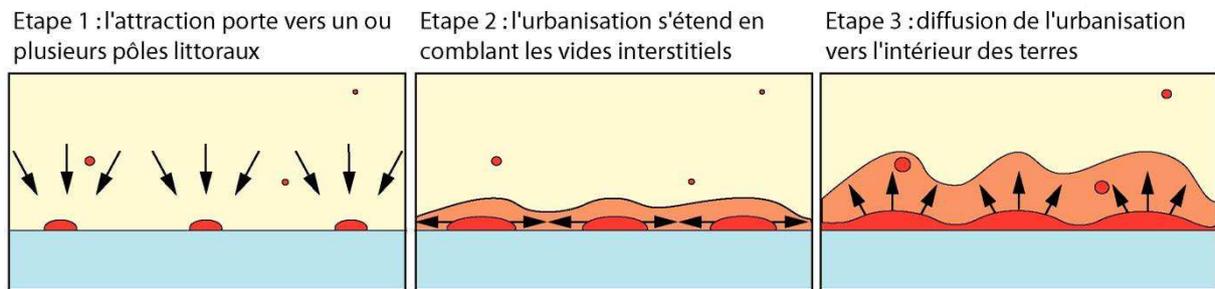


Figure I-9. Etapes du processus de littoralisation

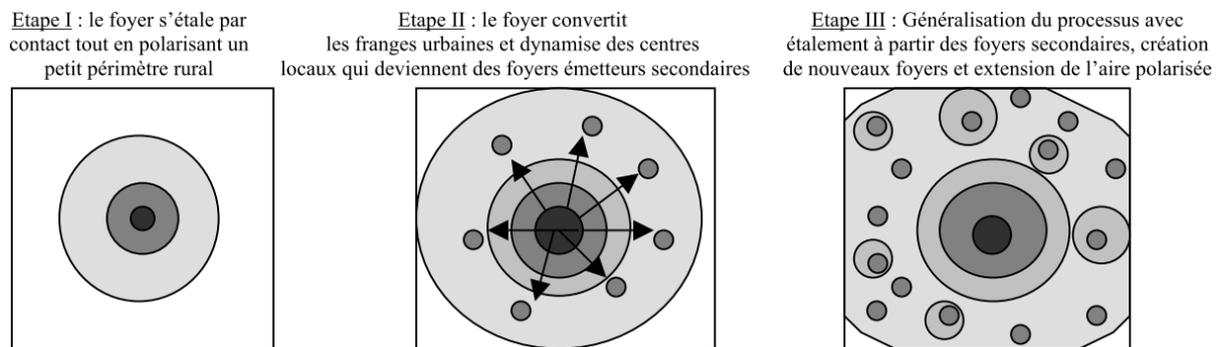
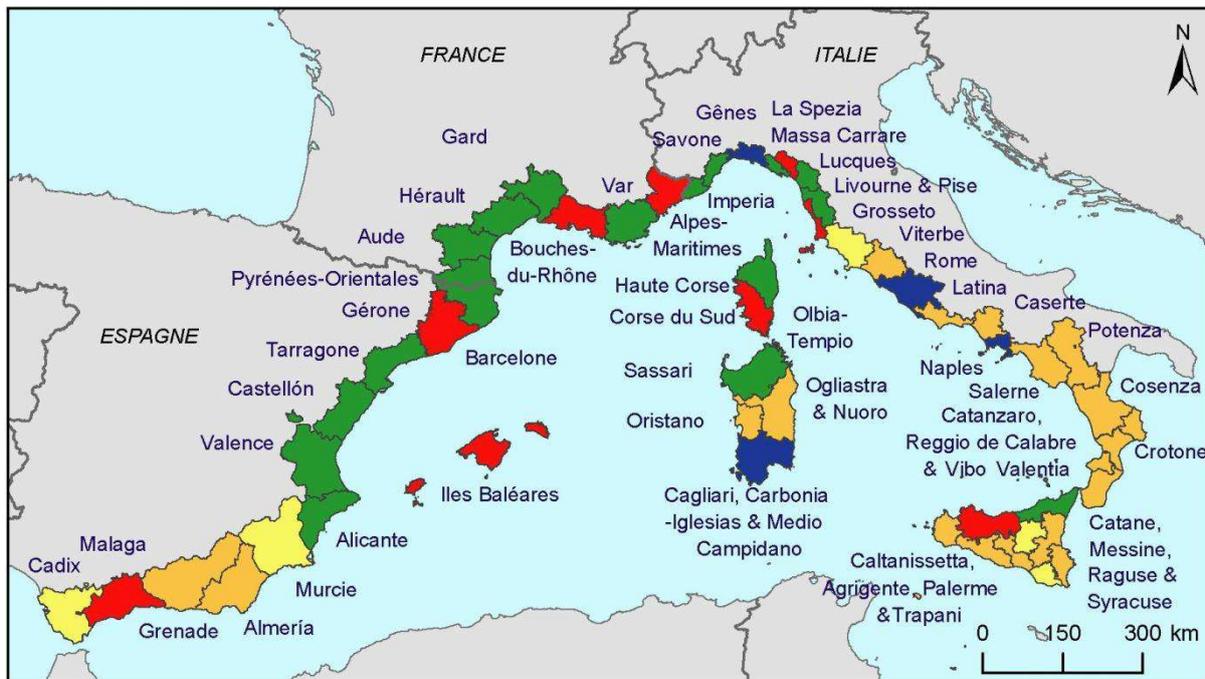


Figure I-10. Etapes de l'étalement urbain (Enault 2003, p.119)

Ce modèle montre que l'espace est une dimension fondamentale pour analyser les dynamiques de littoralisation qui reposent sur des processus de concentration/diffusion des hommes, des activités et de l'urbanisation pouvant conduire à des différenciations spatiales (littoral/arrière-pays) ou à une certaine homogénéisation (extension de la conurbation littorale vers l'intérieur des terres) selon les temporalités. **La dimension spatiale sera ainsi au cœur de notre prospective des dynamiques de littoralisation.** Ces dynamiques montrent en outre la nécessité d'une gestion différenciée des littoraux en fonction de leur stade de développement. **La forte structuration des dynamiques spatiales de littoralisation décrite par le modèle est à l'origine de notre première hypothèse de recherche : les dynamiques de littoralisation s'inscriraient dans une logique d'évolution spatio-temporelle pouvant informer sur leurs évolutions prochaines (H1).** Par ailleurs, si la littoralisation représente une tendance généralisée, que l'on peut modéliser par trois phases, cela n'empêche pas l'existence d'une grande variété de formes de développement des littoraux, qui ont notamment été décrites à travers deux régionalisations.

1.3.2. Régionalisations de l'Arc Latin : des contrastes démographiques, urbains, spatiaux, économiques et environnementaux

Du point de vue du résultat des processus de densification, la littoralisation n'est pas homogène sur les rivages de l'Arc Latin. À notre connaissance, deux régionalisations décrivant les structures territoriales de l'Arc Latin ont été réalisées : celle de la thèse de C. Voiron-Canicio d'une part (1993), et celle de B. Cori (1999) qui reprend en partie la carte du chapitre de conclusion de l'ouvrage intitulé « *Urban change and the environment, The case of the north-western Mediterranean* » (Capineri et al. 1995). La densité de population et les spécialisations économiques sont des variables intégrées dans les deux régionalisations. La régionalisation de C. Voiron-Canicio se distingue par la prise en compte de la trame urbaine et de l'hétérogénéité de la distribution de la population entre littoral et arrière-pays. Elle caractérise en cinq profils la présence et l'intensité de la littoralisation sur l'Arc Latin, en y intégrant les spécialisations économiques (cf. Figure I-11 et encart).



CARACTERE DES STRUCTURES TERRITORIALES

Homogénéité

- 1a : Maillage communal extrêmement lâche, faibles densités, espaces agricoles
- 1b : Maillage communal lâche, densités moyennes, espaces agricoles

Tendance aux différenciations régionales

- 2 : Maillage communal très serré, faibles densités, répartition inégale de la population, activités diversifiées

Fortes différenciations spatiales

- 3 : Maillage communal serré, densités élevées, contrastes littoral/arrière-pays accusés, spécialisation fonctionnelle (industrie ou services)

Polarisation

- 4 : Maillage communal très serré, densités extrêmement fortes, concentration spatiale des hommes et des activités, activités tertiaires largement dominantes

Figure I-11. L'organisation régionale de l'Arc Latin (reproduction simplifiée de Voiron-Canicio 1993)

Présentation des cinq profils (extrait de Voiron-Canicio 1993, p.182 et 187) :

« Les espaces homogènes constituent le premier type. L'agriculture occupe encore une grande partie de la population ; les territoires communaux sont vastes ; la population est regroupée dans des villages, de taille équivalente et régulièrement dispersés à travers la province. Deux sous-types apparaissent en fonction de l'intensité des caractères énoncés, 1a et 1b. Quatre provinces du Sud de l'Espagne, ainsi que les deux tiers des provinces italiennes ont des structures territoriales homogènes.

Dans la plupart des provinces du Centre et du Centre-Ouest de l'arc, les sous-espaces ont tendance à être différenciés (type 2). La trame communale est serrée ; la population se répartit inégalement entre les zones de l'avant-pays et celles de l'arrière-pays. Les activités sont par ailleurs plus diversifiées que dans le type précédent.

Le troisième type est composé de neuf provinces dans lesquelles existent des différenciations spatiales fortes et qui opposent vigoureusement un arrière-pays agricole et dépeuplé à un avant-pays regroupant la majeure partie des hommes et des activités. Ces contrastes induisent le plus souvent des développements spatiaux de type axial. À l'exception de la province de Barcelone, qui a une double orientation industrielle et tertiaire, les provinces ont une spécialisation marquée dans les services, soit en raison d'une activité touristique prédominante, soit en raison de la présence d'une grande agglomération urbaine.

Quatre provinces d'Italie : Gênes, Rome, Naples et Cagliari, forment le quatrième et dernier type caractérisé par une forte polarisation. La concentration spatiale et fonctionnelle est maximum ; les densités sont extrêmement élevées. Toute la province est sous la domination de la métropole ou de la capitale régionale. »

C. Voiron-Canicio montre qu'aux deux premiers types de structure territoriale (zones homogènes et tendance aux différenciations spatiales) correspondent des régionalisations bien marquées : les zones concernées sont les plus nombreuses et sont souvent continues. Les deux derniers types apparaissent quant à eux de manière plus ponctuelle le long de l'Arc Latin. Les structures homogènes en termes de distribution de la population (catégorie 1) prévalent aux extrémités de l'arc, alors que la différenciation est plus forte dans les espaces du centre de l'arc (catégories 2 et 3). La distinction entre les espaces présentant une « tendance aux différenciations spatiales » (catégorie 2) et les espaces présentant de « fortes différenciations spatiales » (catégorie 3) relève non seulement de contrastes plus accusés entre littoral et arrière-pays, mais aussi de la spécialisation touristique et de densités plus élevées. C. Voiron-Canicio souligne, au-delà du gradient nord-sud, une dissymétrie entre les deux branches de l'Arc Latin : l'arc italien présente une alternance de structures disparates tandis que le côté espagnol est constitué d'un ensemble de structures intermédiaires en continuité avec les départements français voisins (région andalouse mise à part).

La régionalisation de B. Cori se distingue par la prise en compte de la dynamique de la population et de variables relatives aux pressions environnementales (artificialisation des terres, construction de logements, motorisation, etc.). Les classes sont définies en fonction d'un degré d'urbanisation décroissant et d'un degré de « naturalité » croissant (Figure I-12). Les huit classes proposées introduisent plus de finesse quant au développement urbain mais ne tiennent pas compte de la distribution de la population entre littoral et arrière-pays.

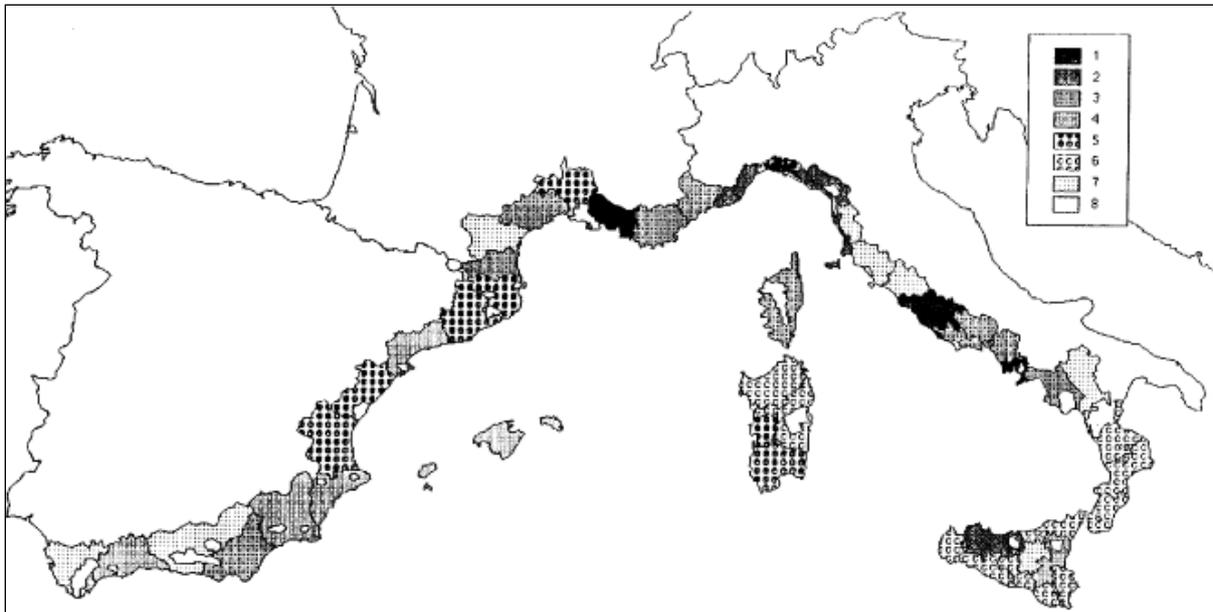


Figure I-12. Typologie des régions côtières de l'Arc Latin selon le degré d'urbanisation et la qualité environnementale (Cori 1999, p. 339)

Typologie des associations urbanisation/environnement (traduit de Cori 1999) :

« 1. Les régions métropolitaines dans une phase critique : Elles sont caractérisées par un arrêt ou déclin démographique, une haute densité de logements, des flux de circulation intenses et par un environnement qui se dégrade ou à risque. Ces zones font l'objet de restructuration et de reconversion pour les plus importantes villes portuaires et leur front de mer. Les régions métropolitaines de Marseille, Gênes, Rome et Naples appartiennent à cette catégorie.

2. Les zones proches de la saturation urbaine : Elles rassemblent des villes de taille moyenne qui présentent une faible augmentation démographique ou une légère baisse, de hautes densités de logements, un mélange complexe d'industrie et de tourisme, avec une forte concurrence pour l'utilisation des terres et une importante pression sur l'environnement. Il s'agit par exemple des provinces périphériques de la Ligurie, avec des villes telles que San Remo et Livourne.

3. Les zones suburbanisées : Il s'agit généralement des provinces frontalières avec les principales régions métropolitaines. Ces zones présentent une diffusion de fonctions urbaines (en particulier pour les provinces limitrophes de Rome et Marseille, en dehors de la partie septentrionale de la Corse, où le changement est dû à

l'augmentation du tourisme). Elles sont caractérisées par une importante croissance démographique, une densité de logements moyenne, de faibles moyens de transport public, et par un environnement qui n'est pas encore dégradé, mais sous pression croissante.

4. Les zones de forte croissance et d'impact environnemental élevé : Elles présentent une forte augmentation de la population et des résidences secondaires, de récents développements industriels et / ou touristiques, de forts indices relatifs à la voiture. Il s'agit de la plupart des provinces du sud de l'Espagne.

5. Les zones de faible développement urbain, avec un potentiel d'innovation : Ces zones connaissent un accroissement démographique modéré, une densité moyenne de logement et une augmentation des résidences secondaires, de faibles indices relatifs à la voiture. Un processus de développement est amorcé dans ces zones sujettes à une redéfinition fonctionnelle et des processus de spécialisation. L'environnement est une autre richesse potentielle. C'est le cas de la plupart des villes espagnoles (Barcelone, Castellon, Valence) et de Cagliari.

6. Les zones marginales sous processus de restructuration : Elles sont marquées par un accroissement démographique très faible, voire négatif, une augmentation des résidences secondaires et des constructions illégales, un conflit entre tourisme et consommation d'espace, avec une faible préoccupation environnementale. La plupart des provinces du sud de l'Italie appartiennent à cette catégorie.

7. Les zones en phase stationnaire : S'appuyant sur des villes de taille moyenne, leur croissance démographique est stable. La densité de logement est moyenne et les indices relatifs à la voiture sont faibles. Leur situation environnementale est plutôt bonne, avec une forte préoccupation environnementale (cf. la distribution des parcs naturels). Cette catégorie rassemble la plupart des provinces du centre de l'Italie et certaines provinces du sud de l'Espagne.

8. Les parcs naturels et les zones protégées : Ils sont généralement situés à l'intérieur de zones appartenant aux catégories 6 et 7. Ils comprennent des parcs naturels renommés tels que celui de Doñana et du delta de l'Ebre en Espagne, la Camargue en France et les zones protégées de Corse et de Sardaigne. »

Les deux régionalisations se recouvrent partiellement, notamment pour les situations extrêmes. Par ses huit classes, la régionalisation proposée par B.Cori introduit plus de différenciation entre les espaces. Elle montre des contrastes importants au sein des catégories 1 (espaces homogènes) et 2 (tendance aux différenciations spatiales) de la première régionalisation. Par exemple, Almeria et Murcie, caractérisés précédemment par leur structure territoriale homogène, sont ici définies en tant que zones « de forte croissance et d'impact environnemental élevé » avec une forte croissance des résidences secondaires (catégorie 4 de la deuxième régionalisation). La régionalisation de B. Cori met ainsi en évidence des contrastes non seulement dans le développement démographique, économique et urbain atteint à la fin du XX^e siècle mais aussi dans les évolutions récentes et à venir. Ces évolutions

sont relatives aux opportunités de développement économique mais aussi à la question de la saturation des littoraux et de la poursuite des dynamiques de littoralisation.

La combinaison de ces deux régionalisations dévoile une variété de stades mais aussi de formes spatiales et fonctionnelles de développement des littoraux. **Ce constat est à l'origine de notre deuxième hypothèse de recherche, à savoir qu'au sein du modèle général, les dynamiques de littoralisation ne seraient pas homogènes sur les littoraux de l'Arc Latin, mais présenteraient différentes évolutions spatio-temporelles (H2), signifiantes pour leurs évolutions prochaines (H1).** Les deux régionalisations ne permettent pas de connaître les évolutions qui ont abouti aux configurations décrites. Cependant la diversité observée, fonction des caractéristiques des territoires (croissance démographique, spécialisation économique, réseau urbain, etc.), nous amène à penser que les dynamiques de littoralisation varient au niveau spatial (localisation des dynamiques de croissance de la population) comme au niveau temporel (la rapidité et l'intensité). On peut penser que d'autres caractéristiques comme le relief, la présence de périmètres de protection ou les infrastructures routières peuvent aussi contribuer à différencier les processus de littoralisation selon les territoires. **L'identification de ces trajectoires de littoralisation nécessite le développement d'une approche comparative pour mettre en relation les évolutions des territoires de l'Arc Latin.** L'évolution des recherches sur le thème fait en outre apparaître la nécessité d'appréhender le processus de littoralisation à un niveau spatial fin et sur un temps long.

1.3.3. Nécessité d'une rétrospective fine des processus de littoralisation

Les indicateurs utilisés pour mesurer la littoralisation ont évolué vers une appréhension plus fine du phénomène. Les indicateurs classiques comparent les régions littorales avec le reste du territoire (généralement le pays), à travers une mesure statique (ratio entre densité côtière et densité nationale) ou la mesure d'une variation (taux de croissance de la population côtière par rapport à la valeur nationale) (Plan Bleu 2000). Pour F. Dinard (1999), « seules les unités spatiales les plus fines sont susceptibles de restituer les dynamiques du peuplement littoral et d'en rendre la complexité [...], quelques travaux font déjà état d'approche globale et ont démontré tout leur intérêt pour mieux comprendre les modalités de peuplement : Global Demography Project (Tobler 1995), le peuplement de l'Europe (Lebras 1996), Géopolis (Moriconi 1994) ». Une grande échelle d'analyse permet de saisir les évolutions du phénomène avec finesse et ainsi de mettre en évidence les spécificités locales. Cependant, mener une étude sur une grande aire géographique pour une maille locale se confronte à des contraintes méthodologiques et techniques au niveau de l'information géographique, ce qui a pu en limiter l'essor.

Les évolutions spatio-temporelles fines du processus de littoralisation n'ont jamais été étudiées de manière systématique sur l'Arc Latin. Le rapport « Suivi de l'évolution du littoral à partir des données Lacoast » du Plan Bleu (2000), réalisé avec C. Voiron-Canicio, analyse l'évolution de la littoralisation entre 1975 et 1990 pour six zones de la côte méditerranéenne de la France. Les évolutions des différents types d'occupation du sol (espaces artificialisés, agricoles, boisés et semi-naturels) sont analysées en fonction de la distance à la mer, à travers cinq bandes de deux kilomètres parallèles au rivage. Les résultats sont présentés sous forme de graphiques, comme sur la Figure I-13 (Voiron-Canicio et Lizard 2008, sur le même modèle que Plan Bleu 2000), avec la distance à la mer en abscisse et les parts des trois grands types d'occupation du sol en ordonnée.

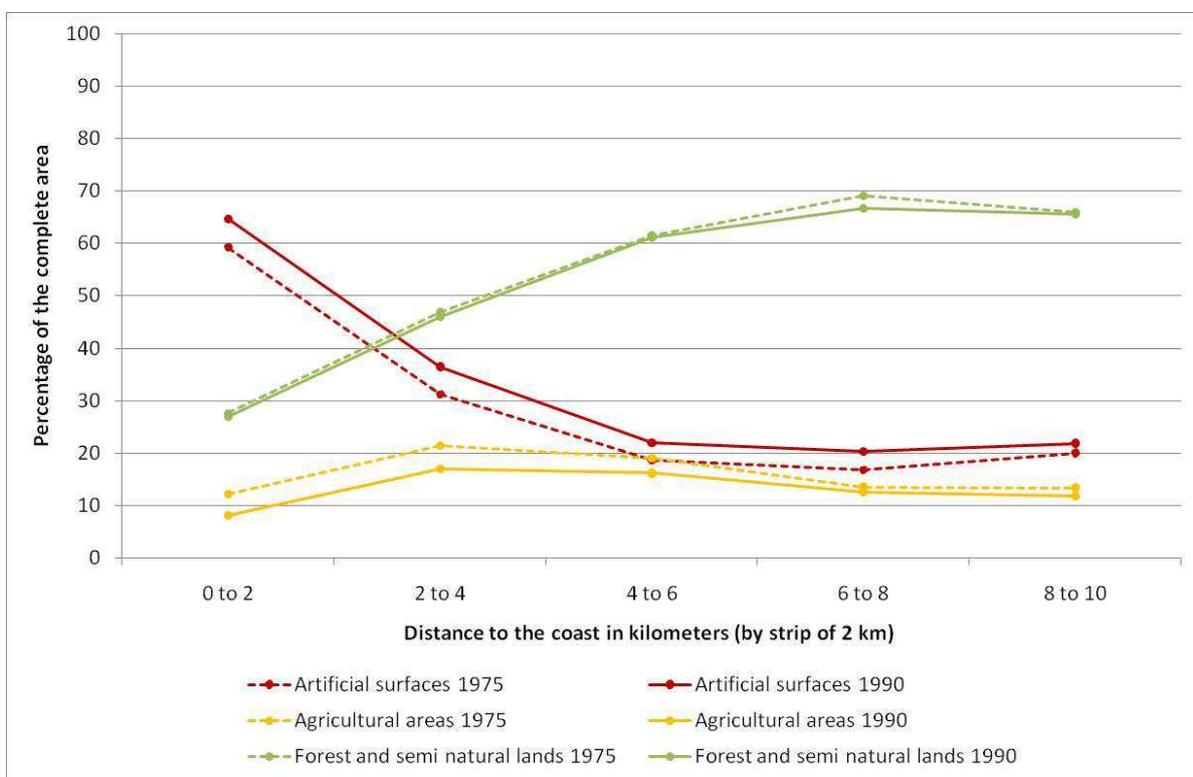


Figure I-13 : Occupation du sol sur la côte des Alpes-Maritimes en fonction de la distance au rivage (1975-1990) (Voiron-Canicio et Lizard 2008, sur le même modèle que Plan Bleu 2000)

Cette approche permet d'analyser l'évolution de la distribution des surfaces artificielles, agricoles et naturelles conditionnellement à la distance à la mer, et fournit ainsi une traduction spatiale du processus de littoralisation. Cependant, l'évolution analysée entre deux dates uniquement ne permet pas de voir comment différentes phases de développement ont pu se succéder. En effet, une certaine « profondeur historique » s'impose pour mettre en perspective les différentes phases d'évolution de la littoralisation et identifier la trajectoire d'évolution. C'est dans cette optique que nous avons prolongé ce traitement pour la Côte d'Azur à partir des données Corine Land Cover 1990-2000 (Voiron-Canicio et Lizard 2008).

Le résultat présenté en Figure I-14 montre, par comparaison avec le graphique précédent, la saturation des premiers kilomètres et le report vers la bande allant de 6 à 8 km du rivage. L'analyse n'a pu être prolongée, l'amélioration de la résolution des données d'occupation du sol disponibles pour la période 1999-2006 (base de données OCSOL du CRIGE PACA) faisant obstacle à la comparaison avec les périodes antérieures.

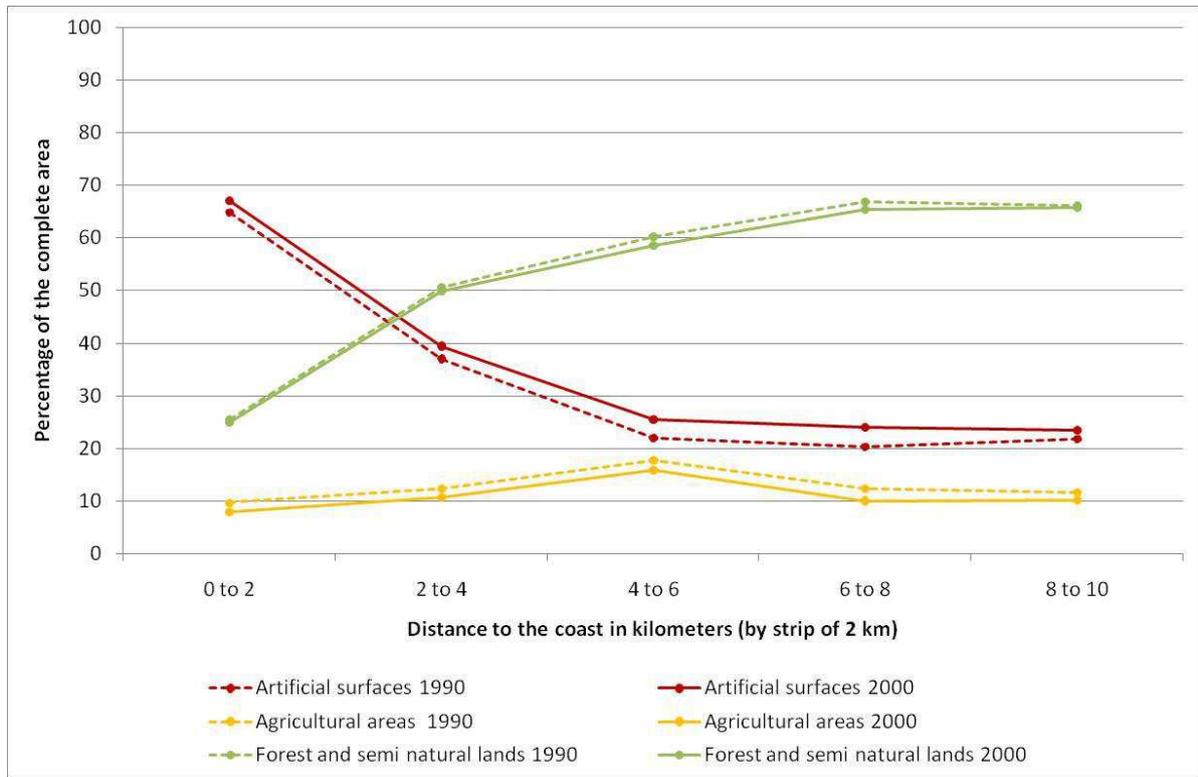


Figure I-14. Occupation du sol sur la côte des Alpes-Maritimes en fonction de la distance au rivage (1990-2000) (Voiron-Canicio et Lizard 2008)

Les analyses qui présentent une rétrospective sur plusieurs dates à une échelle fine se limitent à une seule région d'étude et n'offrent donc pas la possibilité de comparer les processus de littoralisation de différents territoires. Ces analyses se basent sur des données communales (Voiron-Canicio 1995, 1999, Lizard et Voiron-Canicio 2012), qui posent généralement moins de problèmes au niveau de leur comparaison à travers le temps, mais comportent les contraintes propres aux maillages administratifs. Ces analyses sont basées sur une méthode de l'analyse spatiale, la morphologie mathématique, dont l'usage a permis de révéler les structures spatiales à chaque date et d'en analyser les évolutions (Voiron-Canicio 1995, Lizard et Voiron-Canicio 2012). Ces traitements sont capables de mettre en évidence des évolutions différenciées au sein de l'espace d'étude. L'observation des contrastes régionaux grâce à une procédure de segmentation de la morphologie mathématique permet d'analyser la manière dont s'effectue le contact entre les principaux sous-espaces (avant-pays et arrière-pays notamment). Cette procédure, appelée hiérarchisation de l'image gradient,

consiste à retirer progressivement les contrastes les plus faibles, afin de ne garder que les plus forts clivages spatiaux.

L'analyse des densités de population communale dans la province d'Alicante en 1920, 1980 et 1990 (Voiron-Canicio 1995), montre l'évolution d'un espace homogène en un espace de plus en plus différencié : l'ouest développé se distingue de l'est montagneux et rural, où s'individualise une bande littorale plus peuplée. Appliquée aux taux annuels moyens de construction de logements sur la Côte d'Azur pour cinq périodes de la seconde moitié du XX^e siècle (Lizard et Voiron-Canicio 2012), cette procédure permet d'observer les différentes phases de littoralisation (bien visibles pour la troisième itération de la procédure de hiérarchisation, sur la Figure I-15) : l'individualisation de certaines parties du littoral, puis la formation d'une bande côtière continue et sa propagation progressive vers l'intérieure des terres. Les périodes 1982-1989 et 1990-1998 mettent en évidence des processus de différenciation plus complexes, avec une individualisation de plusieurs systèmes sous-régionaux reliant différentes parties de la côte avec leur arrière-pays, indiquant que les dynamiques de construction de logements ne sont plus fonction de la distance à la mer. Dans la dernière période, les contrastes sont organisés autour des deux régions urbaines de Nice et de Toulon, dont le contact s'établit au niveau d'une ligne allant de Fréjus à Draguignan.

Ces analyses montrent l'utilité d'une connaissance fine spatialement et suivie temporellement des dynamiques territoriales pour caractériser les processus de littoralisation et comprendre leurs logiques spatiales. **Afin d'appréhender les trajectoires de littoralisation et anticiper les évolutions à venir, l'analyse des dynamiques territoriales sera ainsi menée à une échelle spatiale fine et sur un temps long. L'analyse prospective de ces différentes trajectoires devrait fournir une information pertinente pour une gestion anticipatrice et différenciée des dynamiques de littoralisation (H3).**

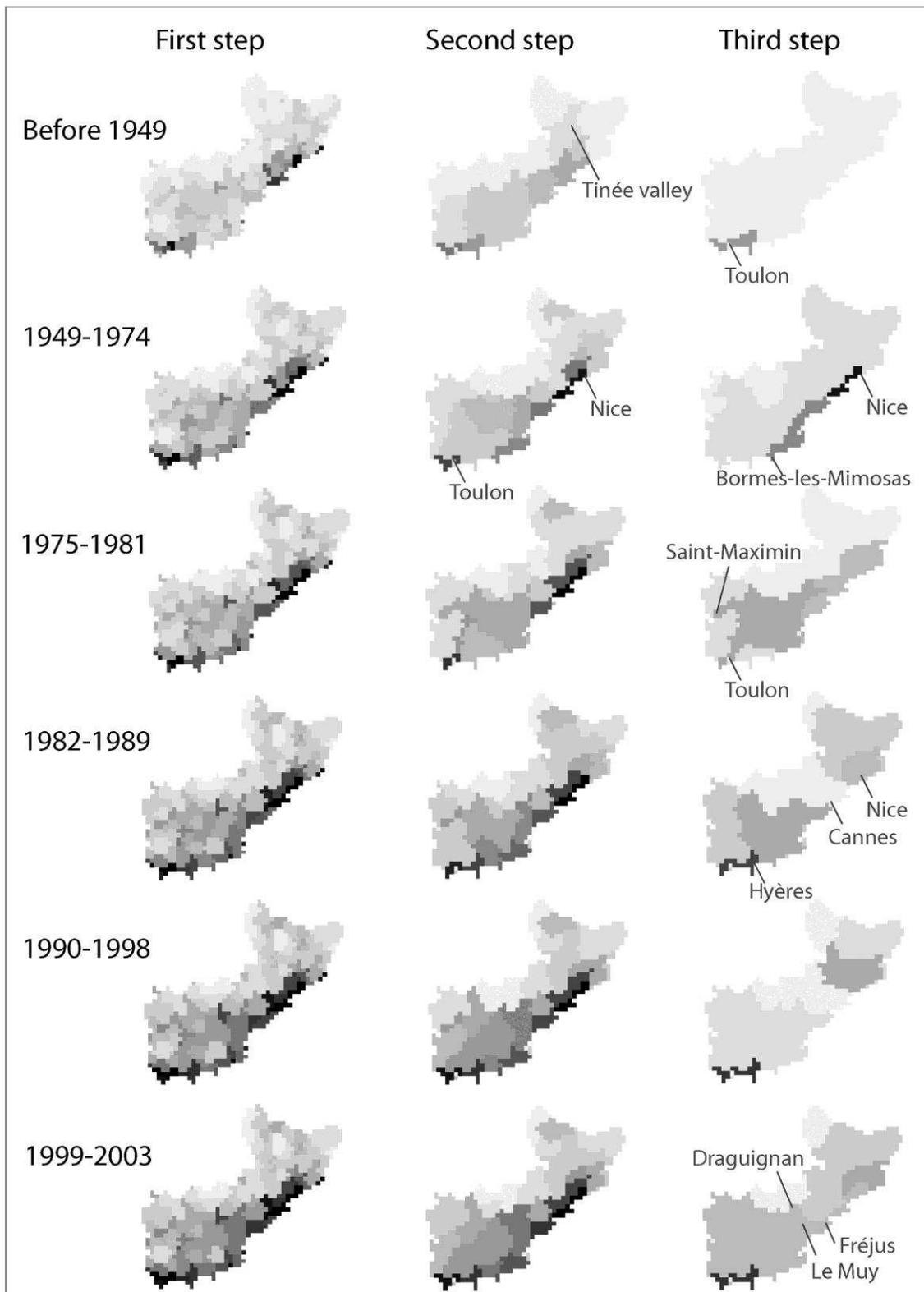


Figure I-15. Hiérarchisation de l'image gradient des valeurs communales de construction de logements sur la Côte d'Azur (Lizard et Voiron-Canicio 2012)

Conclusion

La littoralisation correspond à un modèle spatial associant densification des zones côtières et déclin des arrière-pays. Sur les littoraux de l'Arc Latin, l'arrivée et la concentration de populations ont été soutenues par un fort développement touristique et résidentiel. La littoralisation n'est pas homogène sur ces régions littorales, bien qu'elles présentent un « effet d'arc », mis en évidence dans la thèse de C. Voiron-Canicio (1993). Les différentes analyses de l'Arc Latin montrent une littoralisation d'intensité variable, atteignant un stade avancé en certains littoraux d'urbanisation ancienne, où la saturation littorale induit un redéploiement vers l'intérieur des terres. Ce développement intense n'est pas sans conséquence : « La répartition, quantitative et qualitative, de la population dans les pays méditerranéens et leurs régions côtières revêt une importance considérable dans une optique de développement durable. Ce phénomène, et ses modalités, conditionnent en effet largement le bien-être des hommes, leur niveau de développement économique, la gestion plus ou moins rationnelle et l'utilisation des ressources naturelles ainsi que l'état de l'environnement » (Moriconi-Ebrard 2001). La croissance démographique, la concurrence pour la ressource limitée qu'est l'espace et le développement résidentiel et touristique se traduisent par des tensions socio-économiques (déséquilibres territoriaux, conflits d'usage, tensions foncières) et par une urbanisation littorale intense, à l'origine d'une dégradation des milieux naturels littoraux (Figure I-16). Les politiques de réglementation de l'urbanisation ou de protection des espaces naturels ou agricoles ont été mises en place tardivement et ont fait l'objet de dérives illégales exacerbées par l'importance des enjeux financiers de ce développement (Courtot 2003). Alors que la GIZC vise à développer et institutionnaliser une approche transversale dans la gestion des littoraux, **une analyse prospective des processus de littoralisation nous paraît fondamentale afin d'anticiper les évolutions de ces territoires.** Les pressions anthropiques croissantes soulèvent de nombreuses interrogations quant au devenir des territoires littoraux de l'Arc Latin, auxquelles viennent s'ajouter les incertitudes relatives aux changements climatiques à venir.

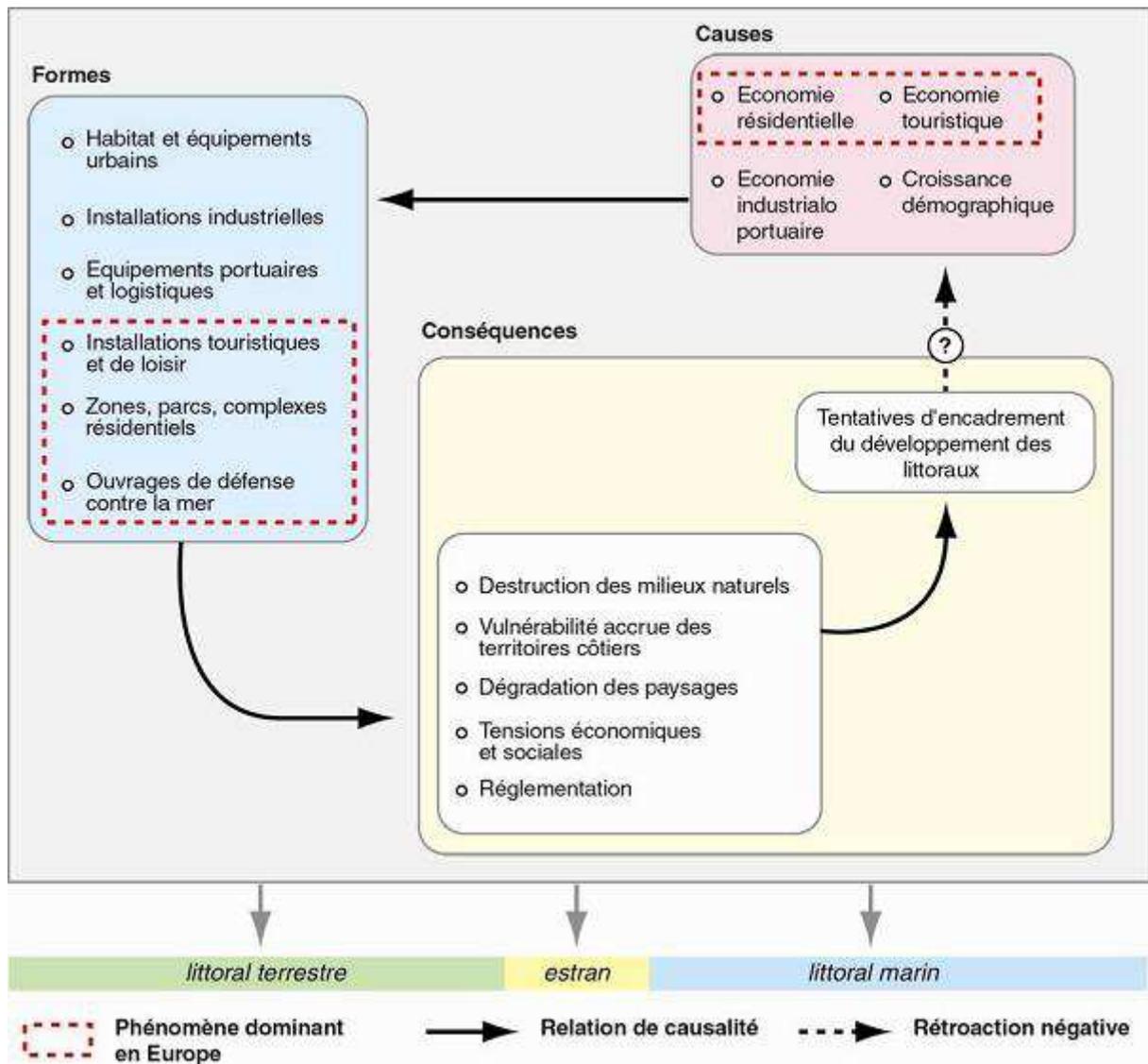


Figure I-16. La problématique de l'urbanisation littorale, une synthèse (Robert 2009)

2. Les littoraux face au changement climatique : s'adapter en contexte incertain

Alors que les pressions anthropiques sont croissantes sur les littoraux de l'Arc Latin, de nouveaux bouleversements liés au changement climatique émergent. Cette seconde partie présente la spécificité des littoraux nord-méditerranéens dans le contexte du changement climatique et notamment ses interactions potentiellement fortes avec la littoralisation, à l'origine d'un contexte décisionnel délicat car incertain. Les difficultés d'évaluation des impacts du changement climatique contraignent la mise en place de mesures d'adaptation à l'échelle locale, où ils se feront ressentir.

2.1. Un renforcement des risques, des pressions et des incertitudes sur l'avenir

2.1.1. Une convergence d'aléas sur les littoraux méditerranéens

À l'interface terre-mer, les aléas auxquels la zone littorale est soumise sont nombreux. D'une part, les littoraux sont concernés par les aléas spécifiques aux bords de mer. Même en Méditerranée où la marée est de faible amplitude, les submersions marines peuvent affecter les zones basses proches du littoral et provoquer des inondations à l'intérieur des terres. Résultant de séismes ou de glissements de terrain sous-marins, les tsunamis sont également un aléa des côtes méditerranéennes (Bernard 2006). La sismicité de la mer Ligure, de la Sicile ou encore de la côte algérienne peuvent provoquer des tsunamis sur les rivages de l'Arc Latin. Enfin, comme le montre la Figure I-17, l'aléa « érosion du littoral » est particulièrement important sur les côtes méditerranéennes, soumises à de fortes contraintes hydrodynamiques et déficientes en apport fluvial. Cette carte d'exposition des régions européennes à l'érosion côtière a été établie à partir de données réunies par le programme EUROSION (Commission Européenne 2004), définissant quatre catégories d'exposition à partir d'indices de sensibilité et d'impact.

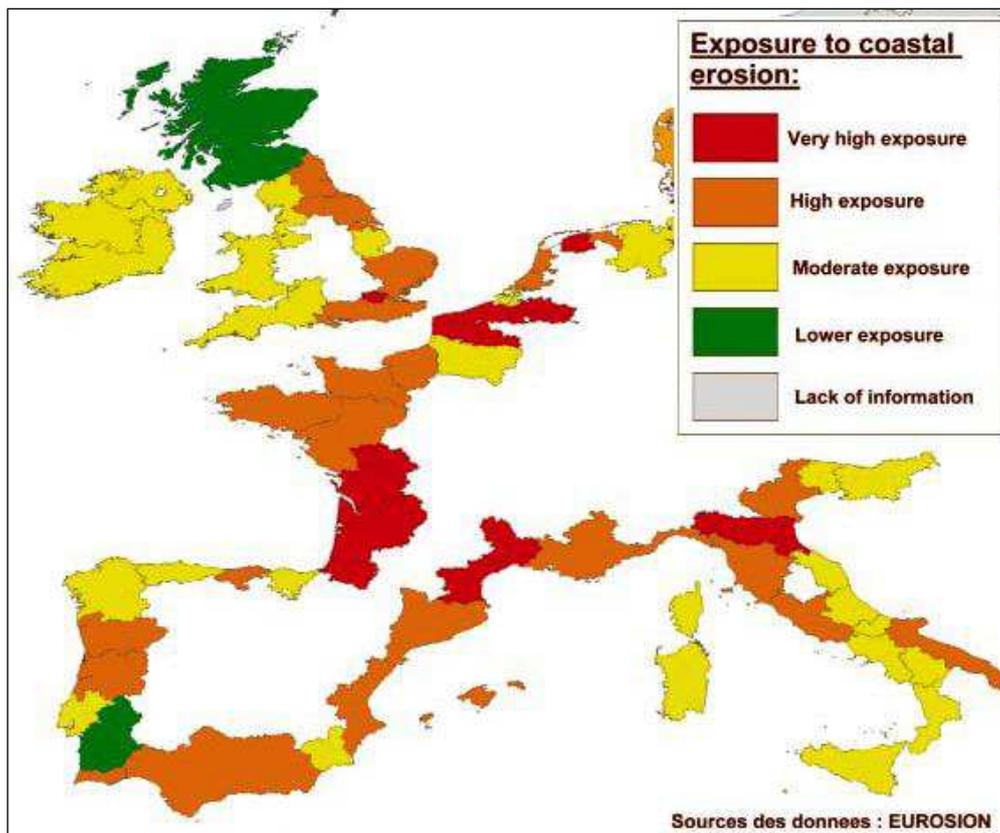


Figure I-17. Exposition des régions européennes à l'érosion côtière (Commission Européenne 2004)

D'autre part, le littoral est soumis aux aléas naturels du territoire dans lequel il s'inscrit, c'est-à-dire un milieu méditerranéen lui-même propice aux risques. En effet, ce milieu présente une « juxtaposition de plaines et de vallées souvent inondables, de coteaux secs, de collines escarpées et rocailleuses, de montagnettes et de sierras calcaires, de grands plateaux (les « garrigues ») introduisant des dénivelés topographiques [...], enfin sécheresse du climat et caractère pyrophyte de la végétation » (Courtot et Perrin 2005). Ainsi, le milieu est propice aux feux de forêts, favorisés en outre par les nombreuses interfaces entre habitations et milieux naturels (Lampin-Maillet 2010). Le risque sismique s'observe au droit des massifs méditerranéens, où il touche principalement les communes d'arrière-pays (CETE Méditerranée 2007). Les inondations sont favorisées par le climat, la nature du réseau hydrographique, la topographie et la structuration urbaine (Colas 2011). L'artificialisation et l'imperméabilisation des sols favorisent en effet le ruissellement et l'intensité des crues. S. Colas (2011) montre qu'en France, entre 1982 et 2009, les arrêtés de catastrophe naturelle sont plus nombreux dans les communes littorales (5,4 par commune en moyenne) que dans l'ensemble des communes françaises (2,5 par commune en moyenne). Les communes du littoral méditerranéen français recensent près de 7 arrêtés par communes dans la même période.

2.1.2. La Méditerranée : un « hot spot » du changement climatique

D'après le Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC 2007a), le pourtour méditerranéen devrait être, au cours de ce siècle, un « *hot spot* » du changement climatique, c'est-à-dire qu'il devrait être plus touché par le changement climatique que de nombreuses autres régions du monde (Plan Bleu 2008). D'après les modèles de simulation de ces dernières années, la Méditerranée devrait connaître une augmentation de la température moyenne correspondant au double de l'augmentation de la température mondiale, une augmentation significative des vagues de chaleur et une forte diminution des précipitations (Carraro et Sgobbi 2008). Les modifications climatiques vont se traduire par l'apparition de risques, progressive pour certains ou correspondant à des événements extrêmes pour d'autres. Ces perturbations ne sont pas forcément nouvelles, mais les projections climatiques estiment comme très probable une aggravation de leur intensité et leur fréquence (GIEC 2007a). D'après ces projections, les changements climatiques et l'élévation du niveau de la mer entraîneront un accroissement des risques auxquels sont déjà exposées les côtes, notamment en matière d'érosion et de submersion (GIEC 2007a). Même si les incertitudes sont encore importantes concernant la fréquence et l'intensité de ces phénomènes (coups de mer, inondations, remontée du niveau de la mer, etc.), les risques encourus font des littoraux des territoires à enjeux (ONERC 2008). Le Plan Bleu (2008) propose, pour la zone méditerranéenne, une synthèse des évolutions annoncées dans le quatrième rapport du GIEC :

Extrait du rapport « Changement climatique et énergie en Méditerranée » (Plan Bleu 2008)

« Depuis 1970, le Sud-ouest de l'Europe (péninsule ibérique, sud de la France) a connu un réchauffement de près de 2°C (GIEC 2007). Ce réchauffement est également perceptible au nord de l'Afrique même s'il est plus difficilement quantifiable du fait d'un réseau d'observations moins complet.

Pour la région Méditerranée, les spécialistes du climat anticipent au cours du XXI^e siècle :

- Une augmentation de la température de l'air de 2,2 C° à 5,1 C° pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne sur la période 2080 – 2099 par rapport à la période 1980 – 1999 (GIEC 2007, scénario A1B).

- Une baisse sensible de la pluviométrie, comprise entre -4 et -27 % pour les pays de l'Europe du Sud et de la région méditerranéenne (alors que les pays du Nord de l'Europe connaîtront une hausse comprise entre 0 et 16 %) (GIEC 2007, scénario A1B).

- Une augmentation des périodes de sécheresse se traduisant par une fréquence élevée des jours au cours desquels la température dépasserait 30 °C (Giannakopoulos et al.

2005). *Les évènements extrêmes de type vagues de chaleur, sécheresses ou inondations pourraient être plus fréquents et violents.*

- *Une hausse du niveau de la mer qui, selon quelques études, pourrait être de l'ordre de 35 cm d'ici la fin du siècle. »*

Ces changements climatiques amplifieront les pressions déjà existantes sur l'eau, les sols, la biodiversité terrestre et maritime et les milieux forestiers. En termes d'activités humaines, les impacts concernent l'agriculture et la pêche (diminution des rendements), l'attractivité touristique (vagues de chaleur, raréfaction de l'eau), les zones côtières et les infrastructures (expositions importantes à l'action des vagues, tempêtes côtières et autres évènements météorologiques extrêmes, hausse du niveau de la mer), la santé humaine (vagues de chaleur) et le secteur énergétique (alimentation en eau des centrales, hydro-électricité et consommation accrue) (Plan Bleu 2008). Le dernier rapport du GIEC, paru fin septembre 2013, confirme les conclusions des rapports précédents et les renforce (Le Treut 2013).

2.1.3. Des interrelations potentiellement fortes entre littoralisation et changement climatique

Sur l'Arc Latin, les interrelations entre changement climatique et littoralisation sont potentiellement fortes et vont dans le sens d'un accroissement des risques, des pressions et des incertitudes sur l'avenir (Figure I-18).

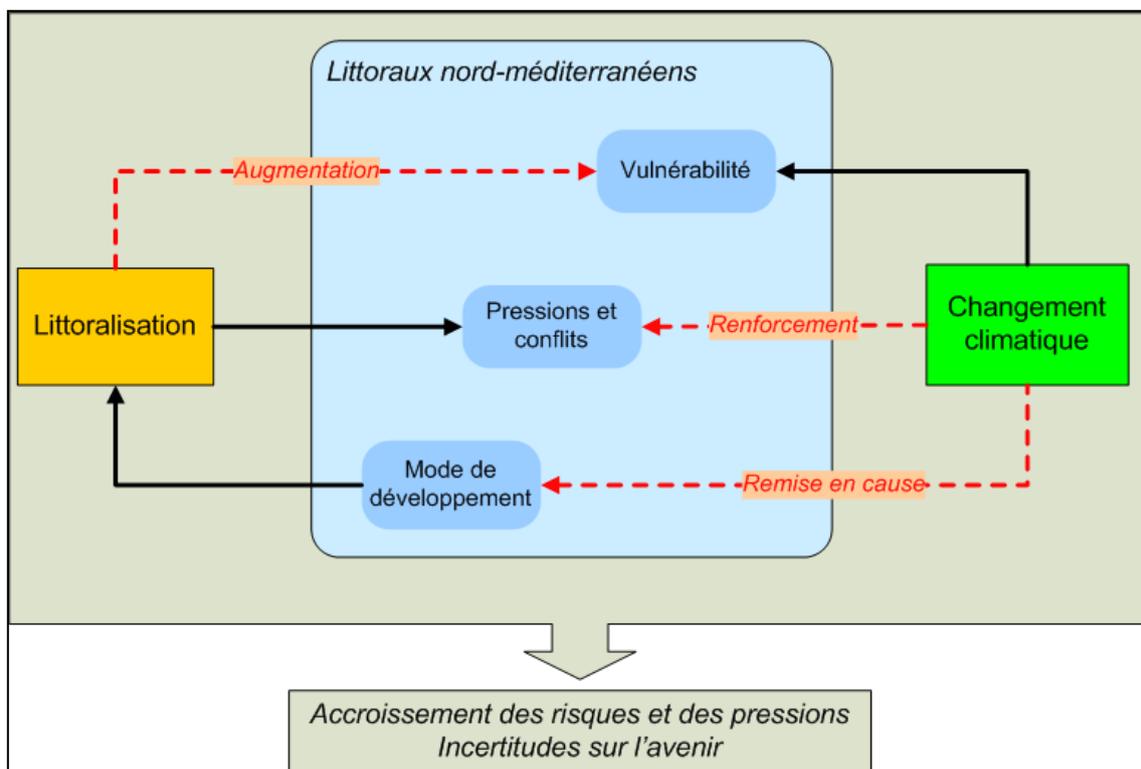


Figure I-18. Interrelations entre littoralisation et changement climatique

- Des sociétés méditerranéennes vulnérables aux changements climatiques

Les sociétés méditerranéennes et leur environnement sont très vulnérables aux changements climatiques en cours et à venir, non seulement pour des raisons naturelles (limitation des ressources en eau par exemple) mais aussi par leur mode de développement : littoralisation et développement intensif du tourisme balnéaire (Billé et Rochette 2008). Le risque naît de la confrontation d'un aléa et d'une zone géographique où se concentrent des enjeux humains qui caractérisent la vulnérabilité. La littoralisation va déterminer en partie la vulnérabilité au changement climatique. En effet, ces risques côtiers sont fortement liés aux formes d'anthropisation des littoraux. La densité de population est très forte à proximité immédiate des rivages, où sont localisés les aléas liés à la mer. De plus, par la capacité d'accueil touristique des communes littorales, la population présente peut théoriquement doubler (Colas 2011). Les zones côtières constituant un espace privilégié de développement, la submersion marine est une réelle menace pour les activités humaines, par perte de constructions ou de terres agricoles. Le recul progressif du trait de côte peut mettre à portée des vagues des aménagements implantés près du rivage. L'urbanisme de front de mer pourrait aussi être soumis à des coups de mer prononcés. L'urbanisation dense et continue des littoraux peut contribuer à la formation d'îlots de chaleur urbains, mais les brises marines rendent le phénomène moins courant que pour des agglomérations situées à l'intérieur des continents.

- Le renforcement de pressions relatives à la littoralisation

Le changement climatique remet en cause les stratégies de développement passées et actuelles par de nouvelles conditions physiques (Billé et Rochette 2008), mais il vient aussi renforcer des problèmes qui existent déjà et qui sont liés à la littoralisation. Par exemple, avec des perturbations telles que les inondations, les sécheresses, la propagation d'insectes et l'acidification des océans, le changement climatique va amplifier la pression sur des écosystèmes d'ores et déjà fragilisés par l'artificialisation des milieux, les rejets polluants concentrés, le mitage des espaces naturels et agricoles ou encore la destruction des petits fonds marins (GIEC 2007a). Concernant les espèces végétales plus particulièrement, le stress hydrique et les feux de forêt sont susceptibles de faire évoluer les paysages. Les pressions vont se cumuler sur les littoraux nord-méditerranéens, par exemple pour la consommation d'eau : à la concurrence entre les différents usages (résidentiel, agricole, industriel, touristique, etc.) va s'ajouter une diminution de la ressource disponible du fait de précipitations moindres et de l'évaporation plus importante. Enfin, et alors que l'on cherche à gagner de l'espace sur la mer et que certaines plages doivent être régulièrement engraisées, l'érosion et les inondations côtières consécutives au changement climatique pourraient renforcer les conflits d'usage, la pression foncière et les coûts d'entretien.

- Une possible remise en cause du développement littoral

Le changement climatique pourrait aller à l'encontre du développement littoral, en remettant en cause l'attractivité des territoires littoraux et de leurs conditions de vie. Par exemple, concernant le tourisme balnéaire, le climat méditerranéen y est actuellement favorable. Il est en fait surtout adapté à un tourisme de masse plus sensible à l'ensoleillement qu'au confort absolu (Dubois et Ceron 2006). Cette vocation méditerranéenne à accueillir une population apte à supporter des excès de chaleur pourrait ainsi être accentuée par les évolutions climatiques. Néanmoins, cette accentuation de la chaleur pourrait aussi avoir un effet de repoussoir pour la population âgée et pour les résidents de l'espace méditerranéen, en France, Italie ou Espagne (Dubois et Ceron 2006). En ce qui concerne les risques côtiers, leur multiplication ou des événements extrêmes pourraient nécessiter le déplacement de populations résidant à proximité du rivage. Suite à la tempête Xynthia survenue le 28 février 2010 et qui a principalement touché la Charente-Maritime et la Vendée, des maisons ont été détruites par l'État, amorçant un processus de retrait des zones dangereuses. Toutefois, comme le souligne D. Mercier (2012) « nos sociétés contemporaines ne semblent pas toujours prêtes à céder des territoires à la nature ». La réparation des digues « à l'identique, avec un renforcement » a été adoptée sans que d'autres solutions n'aient été envisagées comme la transformation des polders ou la dépoldérisation (Verger 2011). Le problème est posé en Camargue, dont les basses terres sont confrontées à un recul de la côte (cf. chapitre VI). De telles mesures devraient en outre être mises en place de manière préventive, et non pas suite à des catastrophes, mais les incertitudes relatives aux changements climatiques à venir et à leurs interrelations avec la littoralisation ne favorisent pas l'anticipation.

- Un mode de développement contribuant aux émissions de GES

Enfin, la littoralisation contribue elle-même au changement climatique. En effet, les choix concernant le mode de développement, l'artificialisation des milieux, les formes d'urbanisation ou encore les types d'habitat, vont engendrer un certain niveau d'émission de Gaz à Effet de Serre. Ces GES peuvent être émis directement par l'Homme : par exemple, le niveau de GES émis par le chauffage, qui est différent selon les types d'habitat, et le niveau de GES émis par les transports, qui peut différer selon les distances à parcourir et les modes de transport. Les GES peuvent aussi être libérés de manière indirecte comme par exemple avec les changements d'affectation des terres. Ces derniers peuvent avoir une incidence sur l'albédo de la surface du globe (par la modification de la couverture terrestre), sur les sources et les puits de GES (par la modification de la circulation naturelle du dioxyde de carbone entre atmosphère et biomasse) ou sur d'autres propriétés du système climatique (GIEC 2007a). Ils peuvent ainsi entraîner un forçage radiatif, c'est-à-dire une variation de l'éclairement énergétique net qui va jouer sur les températures, et peut avoir d'autres répercussions sur le climat, à l'échelle locale ou mondiale (GIEC 2000b).

2.2. Une nécessaire adaptation, contrainte par les incertitudes scientifiques

2.2.1. Montée en puissance de l'adaptation, volet complémentaire de l'atténuation

La question du changement climatique a été soulevée dans les instances internationales en tant que problème de pollution. L'effort international vise alors à réduire les émissions de GES afin de minimiser l'ampleur des changements climatiques à venir. Cela correspond à la stratégie de l'atténuation, consistant à « freiner l'évolution en agissant à la source, à savoir l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère » (Garnaud 2010). L'adaptation est quant à elle le processus par lequel les individus, les communautés et les pays cherchent à faire face aux conséquences des changements climatiques (Lim *et al.* 2005). Lors de son apparition dans la décennie 1990 dans le débat sur le changement climatique, la notion d'adaptation était opposée à l'atténuation : elle était alors perçue comme un moyen pour les États de se défaire de leurs responsabilités en matière de réduction des émissions de GES (Pielke 1998) en soulignant la capacité « naturelle » des sociétés à s'adapter aux changements. En effet, le processus d'adaptation n'est pas nouveau, les hommes s'étant adaptés à travers l'histoire à des conditions changeantes, y compris des changements climatiques naturels de long terme (Lim *et al.* 2005). Cependant, une double prise de conscience s'est opérée dans les années 2000 : d'une part, la vitesse des changements ne permettrait pas de s'en remettre à une adaptation automatique globale ; d'autre part, les efforts d'atténuation ne suffiraient pas à limiter des impacts importants du changement climatique, en raison de l'inertie du système climatique (GIEC 2001). Progressivement, l'adaptation a été réhabilitée en complément de l'atténuation. L'adaptation est désormais un thème à part entière dans les négociations internationales sur le climat. Elle doit permettre de réduire la vulnérabilité des sociétés aux impacts du changement climatique et ainsi de minimiser les coûts et les pertes (Smit et Pilifosova 2001). Les stratégies d'adaptation visent à « optimiser la gestion des conséquences du changement climatique en amoindrissant la vulnérabilité aux impacts négatifs et en tirant le meilleur parti des impacts positifs » (Garnaud 2010).

La problématique du changement climatique a suscité l'émergence d'une gouvernance mondiale, dont les débats et actions sont ensuite progressivement déclinés aux différents échelons territoriaux. C'est ce que l'on peut actuellement voir concernant la mise en place de mesures de réduction des GES. Par exemple, en France, le Plan Climat national 2004-2012 incite les collectivités à mettre en place leur Plan Climat-Énergie Territorial, visant à quantifier les émissions du territoire puis à définir un programme d'action pour les réduire. La question de l'adaptation des territoires s'engage dans la même progression, depuis les échelons institutionnels les plus élevés jusqu'aux échelons territoriaux déconcentrés. Au niveau européen, les États mettent progressivement en place des stratégies globales d'adaptation nationales et régionales : ils sont encouragés par le Livre blanc d'adaptation aux

changements climatiques, présenté par la Commission Européenne en avril 2009. En France, le plan national d'adaptation au changement climatique a été adopté en 2011. Cependant, les incertitudes scientifiques limitent l'évaluation locale des impacts du changement climatique et placent les gestionnaires dans un contexte décisionnel délicat.

2.2.2. Un cumul d'incertitudes limitant l'évaluation locale des impacts du changement climatique

Selon le quatrième rapport du GIEC (2007a), l'essentiel du réchauffement général moyen constaté depuis 50 ans est « très probablement » (probabilité supérieure à 90%) attribuable à l'augmentation de concentration des gaz à effet de serre d'origine anthropique. Ce rapport met en évidence le fait que le changement climatique entraînera des changements dans l'ensemble du système climatique et que les impacts de ces changements se feront sentir différemment selon les régions du monde. Au-delà de ces points de consensus, le changement climatique demeure un phénomène imprécis et incertain, aux différentes échelles spatiales. L'évaluation du changement climatique est réalisée par l'intermédiaire de modèles de circulation générale de l'atmosphère (MCG) et de projections à l'échelle mondiale. Ces modèles sont actuellement déclinés dans des modèles de climat régionaux (MCR) par des procédés de désagrégation (*downscaling*) correspondant à une augmentation de la résolution. Cependant, celle-ci est rendue complexe par un cumul d'incertitudes qui limite l'évaluation locale des impacts du changement climatique.

Toute prévision du changement climatique et de ses effets à l'échelle globale est impossible du fait de la complexité du système climatique (phénomènes d'inertie, rétroactions) et de la méconnaissance des anthroposystèmes (croissance démographique, développement socio-économique, progrès technique), qui sont à l'origine d'incertitudes extrêmes. En réponse, la communauté scientifique a développé une approche permettant de tenir compte de ces incertitudes : elle a élaboré des scénarios d'émissions de GES, images diverses du déroulement possible du futur (GIEC 2000a), et des projections climatiques associées, issues de différents MCG. Cette approche s'est largement diffusée avec les travaux du GIEC. Afin de simplifier la comparaison entre les résultats de la quinzaine de MCG existant dans le monde, le GIEC a instauré un ensemble de quatre familles de scénarios d'émissions, représentant différentes voies de développement en fonction d'un large éventail de facteurs démographiques, économiques et technologiques (GIEC 2000a). Les pôles de modélisation du climat de différents organismes (Institut Pierre Simon Laplace, Météo France, etc.) améliorent constamment leurs modèles et les diverses parties qui les constituent (GIEC 2007a). Cependant, les projections du changement climatique combinent différentes sources d'incertitude, dont certaines paraissent incompressibles :

- Dans les scénarios socio-économiques : Les projections climatiques reposent sur des hypothèses qui peuvent se réaliser ou non et qui sont donc sujettes à une grande incertitude. Aucun des scénarios n'est plus probable que les autres : tout dépend des évolutions démographiques, sociales, économiques, technologiques, ainsi que des décisions qui seront prises dans le cadre des négociations internationales sur le climat (Billé et Rochette 2008).

- Dans les projections climatiques : Quatre grands types d'incertitudes peuvent être distinguées (IDDRI 2008) : les incertitudes concernant la structuration des modèles (au niveau des équations), la connaissance des processus en jeu (certains d'entre eux étant mal représentés ou pas entièrement pris en compte), certaines rétroactions (dont l'ampleur est difficile à quantifier) et enfin au niveau du couplage entre le climat et les cycles biogéochimiques (comme celui du carbone, mal défini, et celui du méthane, qui n'est pas pris en compte dans les modèles actuels).

- Dans la variabilité naturelle : Dans les dix à vingt prochaines années, il n'est pas sûr que le signal du changement climatique se dégage clairement de la variabilité interannuelle d'origine naturelle (Hallegatte *et al.* 2008). La variabilité naturelle constitue ainsi un frein à des projections précises, en particulier lorsque l'on s'intéresse aux projections climatiques à moyen-terme.

- Dans les extrêmes climatiques : Les incertitudes de la réponse physique au changement climatique (températures, précipitations) se répercutent sur notre connaissance des caractéristiques futures des extrêmes climatiques. En outre, la variabilité des phénomènes extrêmes (sécheresse, cyclones tropicaux, épisodes de forte chaleur) est plus difficile à analyser que les moyennes climatiques, car elle nécessite de longues séries chronologiques de données, à haute résolution spatiale et temporelle (GIEC 2007b).

Le meilleur moyen de représenter l'incertitude des projections est de prendre en compte la dispersion de tous les scénarios du GIEC, en montrant la gamme de température simulée par l'ensemble des modèles climatiques globaux (IDDRI 2008). Les incertitudes sont alors d'autant moins grandes lorsque les modèles convergent. Si les grandes lignes des évolutions climatiques sont estimées par les MCG, des programmes de recherche essaient actuellement de modéliser les évolutions climatiques à une échelle plus fine. Cependant, l'évaluation des changements climatiques à un niveau régional est confrontée à des difficultés supplémentaires. En effet, les incertitudes sont au moins tout aussi importantes, si ce n'est plus, concernant les caractéristiques régionales de l'évolution des précipitations ou des phénomènes extrêmes et la possibilité de surprises climatiques (Le Treut 2003). La désagrégation d'un modèle de circulation générale vers un modèle de climat régional représente un défi scientifique et technique. Elle consiste à dériver des valeurs ou des

caractéristiques climatiques locales à partir de l'information à petite échelle (300-400 km) issue des MCG. La difficulté est d'intégrer la variabilité des phénomènes climatiques locaux (Magnan *et al.* 2009). Les incertitudes sont omniprésentes. D'une part, les méthodes statistiques, qui consistent en un apprentissage de désagrégation statistique à partir d'observations, sont sensibles aux hypothèses sur le comportement temporel telle que la stationnarité ou le caractère gaussien des distributions et nécessitent de grandes séries homogènes (IDDRI 2008). Des méthodes sont actuellement en développement afin de dépasser ce problème de stationnarité (Martin *et al.* 2013). D'autre part, pour les méthodes de désagrégation dynamique, où un MCR est contraint par un MCG, les incertitudes liées à la structure des modèles régionaux viennent se combiner aux incertitudes sur les modèles globaux (IDDRI 2008). Ainsi, les projections au niveau régional, se situant en bout de chaîne, cumulent les incertitudes. La localisation précise des changements, comme par exemple la frontière entre zone d'augmentation et de diminution des précipitations en Europe, varie d'un modèle à l'autre et demeure incertaine (Hallegatte *et al.* 2008).

En conséquence, les incertitudes qui entourent les projections régionales entravent l'évaluation des impacts du changement climatique sur les territoires. En effet, les incertitudes sur les changements climatiques globaux et locaux se répercutent sur la connaissance des évolutions des écosystèmes et anthroposystèmes. Les impacts peuvent être extrêmement divers, croisant les changements eux-mêmes (températures, précipitations, vents, élévation du niveau de la mer, etc.) avec toutes les caractéristiques de la zone affectée, les secteurs socio-économiques et les systèmes naturels (Billé et Rochette 2008). Des chaînes d'impacts complexes peuvent se former, c'est-à-dire des séquences de répercussions d'impacts des changements climatiques, affectant les ressources naturelles (écosystème, eau, sol, espace) et les activités humaines (Magnan *et al.* 2009).

2.2.3. Un contexte décisionnel délicat pour adapter les territoires

Selon S. Hallegatte (2008), les gestionnaires ne doivent pas attendre une connaissance « certaine ». Le changement climatique représente bien plus qu'un changement dans les conditions climatiques : il s'agit avant tout d'un accroissement considérable de l'incertitude. D'autre part, l'incertitude scientifique est une « composante normale » de la connaissance : la complexité des systèmes étudiés induit un niveau plus ou moins important d'incertitude non réductible, dite « non probabilisable » (Henry *et al.* 2012). Ces différents aspects sont à l'origine d'une tension entre incertitudes scientifiques et décisions politiques. En effet, la demande de prévisions régionales précises qui émane des autorités politiques locales se satisfait peu des incertitudes scientifiques. Selon S. Hallegatte (2008), quand un utilisateur est confronté à la multiplicité des sorties du modèle climatique, une réaction naturelle est de demander à des scientifiques de climat d'améliorer la connaissance et la compréhension, et de

fournir des prévisions fiables des conditions futures. Cependant, les incertitudes liées aux modélisations du changement climatique demeurent très grandes, et n'ont d'ailleurs pas nécessairement tendance à se réduire au fur et à mesure de la progression des recherches consacrées au climat (Billé et Rochette 2008). L'amélioration des connaissances ne signifie pas une fourchette de projections plus étroite (Hallegatte 2008), la complexification des modèles ne correspondant pas forcément à une réduction des différentes incertitudes. L'incertitude a été l'un des principaux motifs évoqués pour retarder les mesures de réduction des GES, mais attendre pour observer l'évolution du climat est inutile et peut même induire en erreur lorsque plusieurs évolutions se superposent (Hallegatte 2008). Par exemple, les changements dans les précipitations du bassin méditerranéen ne seront pas détectables par les méthodes statistiques avant le milieu du XXI^e siècle (GIEC 2007a).

En plus de ce contexte incertain, s'adapter au changement climatique est « très loin d'être un concept opérationnel » (De Perthuis *et al.* 2010). L'adaptation peut en effet prendre « des formes d'action très variées (protection directe des personnes ou du capital, actions facilitant cette protection, réaction face aux impacts, etc.), dans de très nombreux secteurs (agriculture, eau, énergie, transport, etc.), avec des problématiques très différentes selon les zones et les échelles géographiques (côtes, montagnes, zones urbaines, etc.) et avec des instruments très divers (normes, information, mesures fiscales, transferts, choix d'investissement dans les infrastructures, etc.) » (*ibid.*). L'élaboration de stratégies d'adaptation pertinentes est une question complexe, qui se heurte à la difficulté d'intégrer les spécificités locales. Selon F. Bertrand (2012) les actions d'adaptation semblent résister davantage à la standardisation que les mesures d'atténuation, notamment parce que les enjeux soulevés par l'adaptation sont davantage territorialisés. Les effets du changement climatique étant différenciés sur les territoires, les stratégies d'adaptation doivent être en adéquation avec leurs spécificités (Adger et Vincent 2005) et impliquent ainsi des interventions aux échelles locale et régionale. L'étude menée par l'Organisation de Coopération et de Développement Economiques (OCDE 2006), sur les progrès de l'adaptation au changement climatique dans les pays développés, montre que le débat sur l'adaptation est souvent limité à l'identification des options génériques. La Figure I-19 (GIEC 2007b) présente par exemple des possibilités d'adaptation par secteur d'activité.

Secteur	Possibilité/stratégie d'adaptation	Cadre d'action sous-jacent	Principaux facteurs pouvant limiter ou favoriser la mise en œuvre
Eau	Extension de la collecte des eaux de pluie ; techniques de stockage et de conservation ; réutilisation ; dessalement ; méthodes efficaces d'utilisation et d'irrigation	Politiques nationales de l'eau et gestion intégrée des ressources ; gestion des risques	Obstacles financiers, humains et physiques ; <i>gestion intégrée des ressources</i> ; <i>synergies avec d'autres secteurs</i>
Agriculture	Modification des dates de plantation et des variétés cultivées ; déplacement des cultures ; meilleure gestion des terres (lutte contre l'érosion et protection des sols par le boisement, etc.)	Politiques de R.-D. ; réforme institutionnelle ; régime foncier et réforme agraire ; formation ; renforcement des capacités ; assurance-récolte ; incitations financières (subventions, crédits d'impôt, etc.)	Contraintes technologiques et financières ; accès aux nouvelles variétés ; marchés ; <i>allongement de la période de végétation aux hautes latitudes</i> ; <i>recettes tirées des « nouveaux » produits</i>
Infrastructure/établissements humains (y compris dans les zones côtières)	Changement de lieu d'implantation ; digues et ouvrages de protection contre les ondes de tempête ; consolidation des dunes ; acquisition de terres et création de terrains marécageux/zones humides contre l'élévation du niveau de la mer et les inondations ; protection des obstacles naturels	Normes et règlements intégrant dans la conception les effets des changements climatiques ; politiques d'utilisation des terres ; codes du bâtiment ; assurance	Obstacles financiers et technologiques ; difficultés de réimplantation ; <i>politiques et gestion intégrées</i> ; <i>synergies avec les objectifs du développement durable</i>
Santé	Plans de veille sanitaire pour les vagues de chaleur ; services médicaux d'urgence ; surveillance et contrôle accrus des maladies sensibles au climat ; salubrité de l'eau et assainissement	Politiques de santé publique tenant compte des risques climatiques ; renforcement des services de santé ; coopération régionale et internationale	Seuils de tolérance humaine (groupes vulnérables) ; connaissances insuffisantes ; moyens financiers ; <i>amélioration des services de santé</i> ; <i>meilleure qualité de vie</i>
Tourisme	Diversification des attractions et des recettes touristiques ; déplacement des pentes de ski à plus haute altitude et vers les glaciers ; production de neige artificielle	Planification intégrée (capacité d'accueil ; liens avec d'autres secteurs, etc.) ; incitations financières (subventions, crédits d'impôt, etc.)	Demande et mise en marché de nouvelles attractions ; problèmes financiers et logistiques ; effets potentiellement négatifs sur d'autres secteurs (p. ex. consommation accrue d'énergie pour la production de neige artificielle) ; <i>recettes tirées des « nouvelles » attractions</i> ; <i>élargissement du groupe des parties prenantes</i>
Transports	Harmonisation/réimplantation ; normes de conception et planification des routes, voies ferrées et autres éléments d'infrastructure en fonction du réchauffement et des impératifs de drainage	Politiques nationales des transports intégrant les effets des changements climatiques ; investissement dans la R.-D. sur des conditions particulières (zones à pergélisol, etc.)	Obstacles financiers et technologiques ; absence de trajets moins exposés ; <i>amélioration des technologies et intégration avec des secteurs essentiels (p. ex. l'énergie)</i>
Énergie	Renforcement des réseaux aériens de transport et de distribution ; enfouissement des câbles ; efficacité énergétique ; recours aux sources d'énergie renouvelables ; réduction de la dépendance à l'égard d'une seule source d'énergie	Politiques énergétiques nationales, règlements, incitations fiscales et financières au profit d'autres formes d'énergie ; normes de conception intégrant les effets des changements climatiques	Difficultés d'accès à des solutions de rechange viables ; obstacles financiers et technologiques ; degré d'acceptation des nouvelles technologies ; <i>stimulation des nouvelles technologies</i> ; <i>utilisation des ressources locales</i>

Figure I-19. Exemples de mesure d'adaptation par secteur (GIEC 2007b)

Il n'est pas aisé, pour les responsables territoriaux, sur lesquels repose la mise en œuvre des politiques d'adaptation, de décliner localement ces options génériques en intégrant les spécificités territoriales. Le manque d'une « culture de l'adaptation », qui aiderait à imaginer l'adaptation, et l'institutionnalisation des politiques d'adaptation déclinées à partir des échelons supérieurs aboutissent à une certaine standardisation de leur volet « adaptation » (Bertrand 2010). L'efficacité des actions locales nécessite en outre qu'elles soient en accord avec les politiques définies au niveau régional, national et international. D'après W.N. Adger, N.W. Arnell et E.L. Tompkins (2005), l'adaptation est une question pertinente à toutes les échelles : l'adaptation au changement climatique implique des décisions en cascade dans un environnement composé d'agents depuis les particuliers, les entreprises et la société civile, aux organismes publics, administrations aux échelles locales, régionales et nationales et

organismes internationaux (Adger *et al.* 2005). Une action efficace pour un agent peut avoir des externalités négatives et des répercussions spatiales à d'autres échelles, augmentant potentiellement les effets sur les autres agents ou réduisant leur capacité à s'adapter (Adger *et al.* 2005). La complexité des interactions entre niveaux de gouvernance et entre échelles spatiales rend leur prise en compte particulièrement ardue. Néanmoins, selon A. Magnan (2009), « si les différentes échelles spatiales de l'adaptation sont complémentaires, elles ne sont pas toujours équivalentes du point de vue de leur intérêt pour mettre en œuvre l'adaptation ». Ainsi, en fonction de l'objectif d'adaptation visé, certaines échelles peuvent être préférées à d'autres : elles constituent des angles d'approche privilégiés, tout en gardant en considération la dimension multiscalaire de l'adaptation.

Une autre difficulté vient du caractère évolutif de l'adaptation. L'adaptation est un « état de relatif équilibre entre les hommes et leur environnement, qui demandera en permanence des réajustements » (Tubiana *et al.* 2010). Ceci explique qu'« une société n'est pas adaptée une fois pour toutes : l'essence même du principe d'adaptation est de permettre aux sociétés d'être à la fois suffisamment solides pour projeter leurs choix de développement dans le temps, mais également suffisamment flexibles pour réajuster ces choix au fur et à mesure que de nouvelles connaissances sont mises en lumière. » (*ibid.*). En outre, une action réussie pour un objectif donné peut également avoir des conséquences à d'autres échelles temporelles. Ainsi, si l'installation de climatiseurs en Europe, après des vagues de chaleur estivales, constitue une adaptation efficace, elle n'est pas durable à long terme du fait de la consommation d'énergie et de l'émission de gaz à effet de serre (Adger *et al.* 2005). Néanmoins, des options de court terme comme les climatiseurs ne sont pas forcément à proscrire car elles peuvent constituer une étape dans une stratégie d'évolution plus étalée dans le temps (Magnan 2009).

Etant donné que les modèles climatiques et les observations ne peuvent fournir ce que les cadres actuels de prise de décision nécessitent, la solution est de modifier ces cadres afin de les rendre capables de prendre en compte cette incertitude (Hallegatte 2008). De telles méthodes existent déjà mais exigent que les décideurs collaborent plus étroitement avec les scientifiques du climat (*ibid.*). Pour faire face aux incertitudes du changement climatique, de nouvelles stratégies sont développées, mettant l'accent sur la robustesse (Lempert et Schlesinger 2000). En contexte d'incertitude profonde et de décision à long-terme, cette prise de décision robuste se base sur l'élaboration d'une gamme de scénarios permettant de rendre le futur plus concret (Lempert *et al.* 2009). L'accroissement de l'incertitude doit amener les décideurs à opter pour les solutions les plus efficaces (quelle que soit l'évolution future du climat dans une fourchette plausible) au lieu de chercher la ou les meilleures solutions pour un scénario climatique donné (*ibid.*). D'autres pistes de travail sont également étudiées : par exemple associer une évaluation du degré d'incertitude aux effets étudiés, privilégier les

solutions sans-regret ou réversibles qui permettent une certaine flexibilité d'évolution (MEDCIE du Grand Sud-est 2008), institutionnaliser la planification à long terme, réduire la durée de vie des investissements, et enfin recourir à certaines institutions ou instruments financiers (régimes d'assurance, système efficace d'alerte et d'évacuation) (Hallegatte 2008). Une stratégie réversible consiste par exemple à restreindre l'urbanisation de certains espaces qui pourraient, par leur situation géographique, connaître des inondations dans le futur. Ces différentes pistes correspondent à l'idée d'une gestion adaptative, c'est-à-dire qui pourrait être modifiée de manière à intégrer l'avancée des connaissances.

De nouvelles approches scientifiques doivent en parallèle être développées afin d'apporter une connaissance plus opérationnelle malgré ce contexte incertain et de mieux prendre en compte les contextes territoriaux. L'adaptation pose une double question : à quoi doit-on s'adapter, mais aussi qu'est-ce que l'on adapte et comment ? Les interrelations entre changement climatique et littoralisation montrent que les deux problématiques sont liées. L'adaptation concerne toutes les composantes d'un territoire, et notamment les activités qui s'y trouvent, son organisation spatiale, l'occupation des sols et ainsi la littoralisation. **Nous pensons qu'une approche géographique et systémique, analysant le fonctionnement des territoires littoraux et intégrant leurs spécificités locales et leur dimension spatiale, peut permettre d'identifier les éléments favorables et défavorables à leur adaptation (H4).**

2.3. Différentes approches scientifiques de l'adaptation

Afin de répondre à la nécessité d'adaptation et de mise en place de politiques adéquates, différents types de recherche ont émergé, où l'adaptation est intégrée à des niveaux variés en fonction des objectifs poursuivis. Une première génération de recherches s'est intéressée à l'évaluation des impacts du changement climatique et des effets de mesures d'adaptation sur la vulnérabilité. Les recherches sur l'adaptation visent désormais, d'une part, à identifier et évaluer les déterminants de la capacité d'adaptation des sociétés et leur vulnérabilité sociale, et, d'autre part, à identifier des initiatives concrètes d'adaptation relatives aux besoins d'une communauté ou d'une région.

2.3.1. Intégrer les effets de l'adaptation dans l'évaluation des impacts du changement climatique

Les adaptations ont d'abord été étudiées pour évaluer dans quelle mesure elles pourraient permettre de réduire les impacts négatifs du changement climatique, ou favoriser les effets bénéfiques. Les premières recherches abordant l'adaptation au changement climatique consistent ainsi à modéliser les impacts potentiels à long terme sur différents écosystèmes et secteurs économiques, et à simuler les effets de divers niveaux d'adaptation

sur ces impacts. Bien qu'utile pour décrire les tendances générales et les interactions entre l'atmosphère, la biosphère, les terres, les océans et les glaces, cette approche « *top-down* » ne s'est pas révélée pertinente pour aborder les impacts locaux et régionaux du changement climatique et les capacités locales à s'adapter aux changements liés au climat (TERI 2005). I. Burton *et al.* (2002) ont analysé les limites de la démarche de cette « première génération » de recherches sur les impacts et l'adaptation, dont les lignes directrices ont été formalisées par le GIEC en 1994 (GIEC 1994) et adoptées dans de nombreuses études sur une période allant de 1995 à 2001 (Van Aalst *et al.* 2008).

Ces recherches, basées sur des scénarios de changement climatique dérivés de modèles de circulation générale de l'atmosphère, connaissent les difficultés liées au cumul des incertitudes et à la réduction d'échelle (cf. Chapitre I.2.2.2). Les scénarios climatiques ont l'inconvénient d'évaluer des conditions moyennes et pour quelques variables seulement (Burton *et al.* 2002). L'échelle des scénarios et leur limitation à des températures et précipitations moyennes mettent en cause la validité des impacts estimés (Van Aalst *et al.* 2008). Ces limites se reportent dans l'évaluation de l'adaptation : d'une part, les processus d'adaptation sont plus sensibles à la variabilité et aux extrêmes du climat qu'à ses moyennes ; d'autre part, la plupart des mesures d'adaptation sont localement spécifiques, alors que les modèles de circulation générale de l'atmosphère ne sont pas suffisamment précis en terme de résolution spatiale ou d'échelle pour évaluer l'adaptation (Burton *et al.* 2002). Les incertitudes entourant les scénarios socio-économiques compliquent encore cette évaluation : analyser comment des impacts incertains pourraient être réduits par les processus d'adaptation, dans un climat incertain et dans un contexte socio-économique inconnu, est voué à être hautement spéculatif (Burton *et al.* 2002). Selon Burton *et al.* (2002), « *this fact alone has served to discourage and delay serious interest in the development of adaptation policy on the part of the research and policy communities* »³.

Dans ces recherches, l'accent est mis sur le climat futur, l'évaluation des risques et de leurs impacts. Le rôle des systèmes humains est minimisé ou négligé : c'est l'exposition aux risques et ainsi la vulnérabilité qui sont étudiées plutôt que la capacité des sociétés à faire face aux risques (Brooks 2003). En outre, les évaluations d'impacts ne sont pas conçues pour examiner certains types de mesures d'adaptation : c'est le cas de modèles de croissance des cultures agricoles qui permettent d'analyser les adaptations au niveau de l'exploitation mais pas celles relatives par exemple au marché foncier et aux politiques de soutien des prix agricoles (Burton *et al.* 2002). D'autre part, « *The normal practice has been to assume that*

³ Ce fait seul a dissuadé et retardé l'émergence d'un intérêt sérieux dans le développement de mesures d'adaptation de la part des communautés scientifiques et politiques

adaptation is a function of available adaptation technology and knowledge »⁴ (Van Aalast *et al.* 2008). Ainsi, il est supposé que toutes les options d'adaptation théoriquement disponibles sont adoptées instantanément et efficacement par tous les décideurs. Dans certaines études, cette hypothèse est modifiée et deux niveaux d'adaptation sont possibles : 50% ou 100%. Cependant, cette hypothèse ne se base pas sur une analyse du processus d'adaptation et les options d'adaptation, supposées connues, ne le sont que rarement en réalité (Burton *et al.* 2002). Le contexte politique, les acteurs, leurs comportements et les obstacles possibles à l'adaptation sont rarement intégrés, ce qui ne favorise pas le développement de stratégies d'adaptation permettant de réduire la vulnérabilité en association avec les acteurs.

Les recherches sur les impacts et l'adaptation de la première génération n'étudient pas l'adaptation en elle-même : en effet, « *This work does not [...] examine the actual processes of adaptation or adaptive capacity, explore the conditions or drivers that facilitate or constrain adaptations, nor document the decision-making processes, authorities and mechanisms involved in adaptation* »⁵ (Smit et Wandel 2006). Malgré leurs limites, ces recherches ont contribué de manière significative à la compréhension théorique des impacts climatiques potentiels (Van Aalast *et al.* 2008), notamment au niveau biophysique (Burton *et al.* 2002). Ces recherches ont été synthétisées dans les différents rapports du GIEC de 1990, 1995, 2001, 2007 et le tout récent de septembre 2013. D'après H.-M. Fussel et R.J.T. Klein (2002), ces recherches contribuent à identifier les « niveaux dangereux » de changement climatique et à estimer les dommages liés au changement climatique d'origine anthropique. Ces recherches ont donné naissance à une nouvelle génération de travaux, présentés dans les sections suivantes, qui adoptent une démarche « *bottom-up* » et répondent à deux objectifs distincts. Une partie de ces travaux s'emploie à évaluer la capacité d'adaptation et la vulnérabilité sociale de communautés. Une autre partie de ces travaux vise à définir des mesures d'adaptation pertinentes à l'échelle locale.

2.3.2. Évaluer la capacité d'adaptation et la vulnérabilité sociale

Les recherches évaluant la capacité d'adaptation ou la vulnérabilité comparent des pays, régions ou communautés, sur la base d'indicateurs choisis a priori. La capacité d'adaptation est déterminée par « *the characteristics of communities, countries, and regions that influence their propensity or ability to adapt* »⁶ (GIEC 2001). La démarche consiste ainsi à définir les déterminants de la vulnérabilité ou de la capacité d'adaptation, identifier les

⁴ La pratique habituelle a été de supposer que l'adaptation est fonction des technologies et des connaissances disponibles sur l'adaptation.

⁵ Ce travail [...] n'analyse pas les processus réels de l'adaptation ou de la capacité d'adaptation, n'explore pas les conditions ou les facteurs qui facilitent ou limitent les adaptations, ni ne décrit les processus de décision, les autorités et les mécanismes impliqués dans l'adaptation.

⁶ les caractéristiques des communautés, pays et régions, qui influencent leur propension ou leur habilité à s'adapter

indicateurs les représentant, agréger ces mesures et calculer la valeur caractérisant chaque système (Smit et Wandel 2006). La Figure I-20 présente un indice de vulnérabilité sociale appliqué aux pays d'Afrique, structuré en différents sous-indices agrégeant eux-mêmes divers indicateurs (Adger et Vincent 2005).

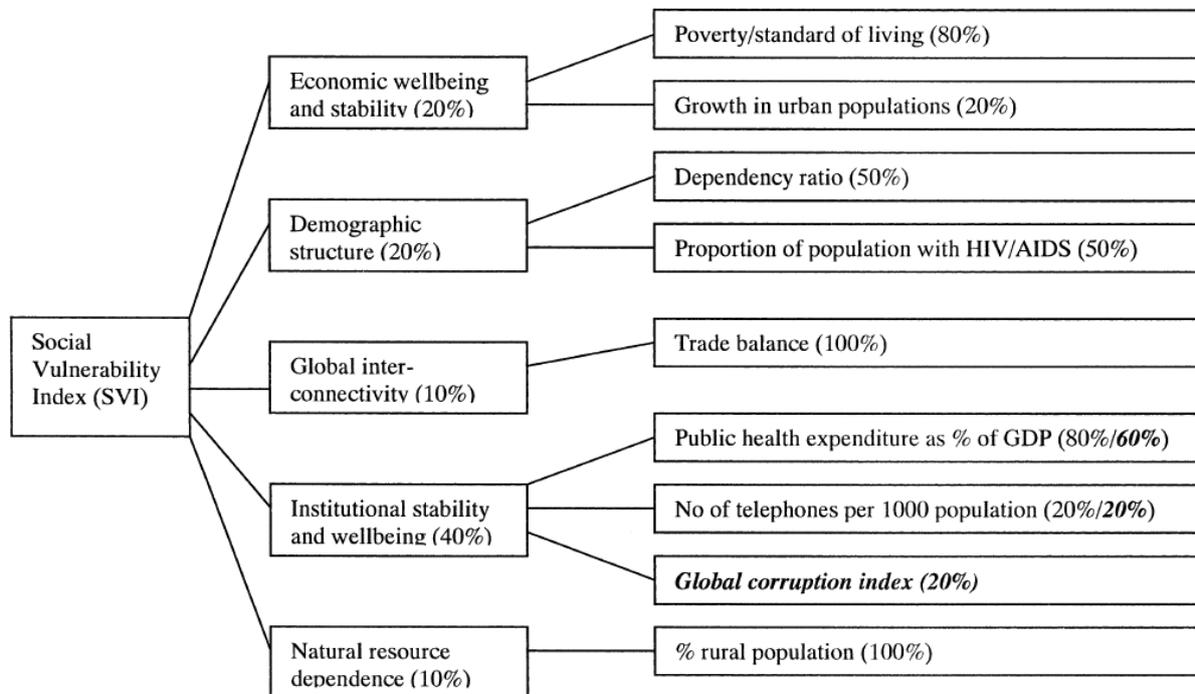


Figure I-20. Structure de l'indice de vulnérabilité sociale agrégé appliqué aux pays africains (Adger et Vincent 2005)

Cette approche suppose l'existence de caractéristiques représentatives de la capacité d'adaptation des sociétés à la variabilité du climat (ou à d'autres types de perturbation). Ces caractéristiques sont relatives aux ressources disponibles pour faire face aux risques, à leur distribution spatiale et sociale, et aux institutions qui gèrent ces ressources et les risques (Adger 2006). Le GIEC (2001) distingue huit grandes classes de déterminants de la capacité d'adaptation : les technologies disponibles, les ressources et leur distribution, la structure des institutions et les autorités responsables de la prise de décision, le capital humain (éducation...), le capital social (droits de propriété...), l'accès à l'assurance, la gestion de l'information, et la perception des risques par la société. L'identification des pays, des régions et des communautés avec les capacités d'adaptation les plus faibles doit permettre de déterminer les priorités et de mieux cibler les efforts d'adaptation, notamment les politiques et les fonds monétaires d'aide à l'adaptation. Ce dernier point explique que la comparaison des capacités d'adaptation ait souvent été menée à l'échelle nationale.

Selon les travaux, c'est la vulnérabilité ou la capacité d'adaptation qui est évaluée, mais les deux démarches sont proches. En effet, la capacité d'adaptation est définie comme

« *potential, capability, or ability of a system to adapt to climate change stimuli or their effects or impacts* »⁷ (GIEC 2001). Cela implique que la capacité d'adaptation peut aider à réduire la vulnérabilité au changement climatique, ou en favoriser les effets positifs. La capacité d'adaptation contribue ainsi à définir la vulnérabilité du système, avec l'exposition et la sensibilité (Alberini 2006) : quand la capacité d'adaptation est contrainte, la vulnérabilité augmente. L'évaluation des capacités d'adaptation d'un territoire permet d'identifier des leviers pour réduire sa vulnérabilité à la variabilité climatique (Adger *et al.* 2005). Par ailleurs, c'est un aspect particulier de la vulnérabilité qui est évalué dans ce type d'approche, qui tend d'autant plus à la rapprocher de la notion de capacité d'adaptation. La vulnérabilité est ici envisagée comme un état, existant avant la réalisation du risque et déterminé par les propriétés inhérentes du système (Allen 2003). Pour des systèmes sociaux, cette vulnérabilité est nommée vulnérabilité sociale⁸ (Adger 1999, Kelly et Adger 2000, Brooks 2003, Brooks *et al.* 2005). Cette conception se distingue de la définition plus classique de la vulnérabilité, liée aux recherches sur les risques et qui est parfois l'objet des études de la première génération sur les impacts : la vulnérabilité, qualifiée alors de physique ou biophysique, correspond au montant des dommages causés à un système par un événement particulier lié au climat ou à un risque (Lim *et al.* 2005). La vulnérabilité physique résulte de la combinaison du risque (nature, fréquence), du niveau d'exposition et de la sensibilité aux impacts. Elle est exprimée par les dommages résultant de la réalisation de l'aléa : coût monétaire, mortalité humaine, dommages sur les écosystèmes, etc. (Brooks 2003). La vulnérabilité sociale n'intègre ni l'exposition, ni le risque et peut être considérée comme une sous-composante de la vulnérabilité biophysique. Elle est exprimée par des indicateurs de l'état du système avant la survenue d'un aléa, avec des facteurs comme la pauvreté, la marginalisation, la santé, l'accès à la nourriture, ou encore la qualité du logement (Brooks 2003).

Dans les recherches évaluant la capacité d'adaptation, la question sous-jacente est de savoir « *whether it is possible to identify the characteristics of systems, such as communities or regions, that influence their propensity or ability to adapt* »⁹ (Alberini *et al.* 2006). En effet, les déterminants de la capacité d'adaptation sont choisis a priori, en se basant sur des hypothèses concernant les facteurs et processus générant la vulnérabilité, à partir de la compréhension intuitive des interactions hommes-environnement (Adger *et al.* 2005). Cette démarche induit que l'on puisse identifier des déterminants génériques de la capacité d'adaptation ou des caractéristiques des systèmes les rendant plus vulnérables aux risques. Selon Brooks (2003), certains facteurs comme la pauvreté, l'inégalité, la santé et l'accès aux ressources sont susceptibles de déterminer la vulnérabilité des communautés et des individus

⁷ le potentiel, la capacité ou l'aptitude d'un système à s'adapter aux stimuli du changement climatique ou à ses effets ou impacts

⁸ *Social vulnerability*

⁹ S'il est possible d'identifier les caractéristiques de systèmes, tels que des communautés ou des régions, qui influencent leur propension ou leur capacité à s'adapter

à toute une gamme de risques. C'est ce qu'il appelle des déterminants « génériques » de la vulnérabilité sociale, tandis que les propriétés du système le rendant plus vulnérable à certains types de risque qu'à d'autres sont qualifiées de « spécifiques ». Il peut s'agir par exemple de la qualité des logements, qui est un déterminant important de la vulnérabilité sociale d'une communauté lors d'inondations ou de tempêtes, mais qui est moins susceptible d'influencer sa vulnérabilité lors d'une sécheresse (*ibid.*).

Depuis le troisième rapport d'évaluation du GIEC (2001), de nombreuses recherches ont cherché à identifier les déterminants génériques et spécifiques de la capacité d'adaptation à différentes échelles (Downing *et al.* 2001, Yohe et Tol 2002, Adger *et al.* 2004). Cependant, il n'y a actuellement pas de consensus sur les déterminants de l'adaptabilité et il semble qu'elle soit « largement contextuelle », c'est-à-dire dépendante des conditions locales, ce qui remet en cause les évaluations à l'échelle nationale (Magnan *et al.* 2009). En effet, une critique habituelle de ces approches lorsqu'elles visent à comparer différents pays est que la vulnérabilité connaît des différenciations spatiales et sociales importantes à l'intérieur d'un pays et que les conditions locales jouent un rôle important dans la capacité d'adaptation (Adger *et al.* 2005, Yohe et Tol 2002). D'après Alberini *et al.* (2006), la capacité d'adaptation peut avoir une hétérogénéité considérable à l'intérieur d'un système et son évaluation dépend de manière cruciale de l'échelle temporelle et géographique de référence. Ainsi, si l'évaluation de certains pays montre une forte capacité d'adaptation et une faible vulnérabilité, cela n'empêche pas l'existence, au sein de ces pays, de régions ou de lieux ayant une capacité d'adaptation restreinte et une vulnérabilité accrue. Il en résulte qu'en fonction des échelles et des territoires, différents indicateurs sont nécessaires pour saisir les déterminants de la capacité d'adaptation. Les déterminants de la capacité d'adaptation sont spécifiques au système étudié et à ses caractéristiques (Adger et Vincent 2005), ce qui rend difficile le développement d'indices universels de la capacité d'adaptation et la comparaison des différents territoires (Smit et Pilifosova 2001).

Le développement d'indicateurs caractérisant la capacité d'adaptation est contraint par diverses incertitudes. D'une part, il est difficile d'établir l'importance relative de chaque déterminant : certaines recherches mettent l'accent sur les revenus, l'accès à l'information ou encore la dimension psychologique (Grothmann et Patt 2005). En outre, la gamme d'incertitude ne se limite pas à l'identification des déterminants de la capacité d'adaptation mais concerne également la projection de ces déterminants dans le futur (Adger et Vincent 2005). Les indicateurs de la capacité d'adaptation sont basés sur des dires d'experts parfois combinés avec des indices du degré de développement économique et des caractéristiques sociodémographiques et institutionnelles du territoire (Brooks *et al.* 2005). D'après W.N. Adger et K. Vincent (2005), l'évaluation quantitative de la capacité d'adaptation peut poser problème au niveau des données et dans la conception des indicateurs, certains

déterminants ne pouvant être que décrits qualitativement. Selon Alberini *et al.* (2006), « *considerable effort has been devoted to examining the stability of indices and indicators with respect to the construction of weights used to aggregate these measures* »¹⁰. Il s'agit en effet de tester la validité de la construction de ces indicateurs de la capacité d'adaptation et notamment « *to show that an indicator or index is truly measuring what it purports to do* »¹¹ (Alberini *et al.* 2006). Dans le cas de dires d'experts uniquement, un autre arbitrage, basé sur l'hypothèse du « *weakest link* »¹², est proposé par G. Yohe et R. Tol (2002). Il suppose que la capacité d'adaptation d'un système serait limitée par le plus faible de ses déterminants (Tol et Yohe 2007). Cette posture, qui offre des perspectives intéressantes pour l'action, permet de confronter directement les dires d'experts, sans avoir à les agréger dans un indicateur.

Malgré ces difficultés, de nombreux chercheurs soutiennent l'intérêt de développer des indicateurs de la capacité d'adaptation afin de comprendre ses déterminants et de définir les priorités dans les interventions (Alberini *et al.* 2006, Adger et Vincent 2003, Haddad 2005). Si ces recherches sont davantage tournées vers l'action et l'adaptation que les études de la première génération, le fonctionnement des processus d'adaptation et le rôle des facteurs relatifs à la capacité d'adaptation dans chaque système n'y sont cependant pas analysés (Smit et Wandel 2006). Ils sont considérés comme acquis et utilisés comme base pour l'évaluation et le classement. Ces recherches n'analysent pas non plus les politiques existantes et les processus de prise de décision pouvant avoir des effets sur la capacité d'adaptation et la vulnérabilité (*ibid.*). Selon B. Smit et J. Wandel (2006), « *There has been considerable scholarship in the climate change context on calculating indices of vulnerability and adaptive capacities, and on evaluating hypothetical adaptations, yet the practical applications of this work (in reducing vulnerabilities of people) are not yet readily apparent* »¹³. Ainsi, si des hypothèses de déterminants génériques de la capacité d'adaptation (ou de la vulnérabilité sociale) peuvent être identifiées dans ces approches, les spécificités et le fonctionnement du territoire ne sont pas pleinement intégrés, et notamment le jeu d'acteurs, ce qui ne permet pas de penser l'adaptation d'une façon opérationnelle. C'est l'objet des analyses cherchant à définir des mesures et des politiques concrètes d'adaptation.

2.3.3. Définir des stratégies d'adaptation

L'objectif des travaux présentés dans cette troisième section est de contribuer à l'élaboration de stratégies d'adaptation, en fournissant des recommandations spécifiques aux

¹⁰ un effort considérable a été fait pour examiner la sensibilité des indices et des indicateurs en fonction de la pondération utilisée pour agréger ces mesures

¹¹ de montrer qu'un indicateur ou un indice mesure vraiment ce qu'il prétend mesurer

¹² du plus faible maillon

¹³ Malgré de nombreuses recherches dans le domaine du changement climatique sur le calcul d'indices de vulnérabilité et des capacités d'adaptation, et sur l'évaluation d'adaptations hypothétiques, les applications pratiques de ces travaux (la réduction de la vulnérabilité des personnes) ne sont pas encore manifestes.

décideurs et aménageurs quant au renforcement de la capacité d'adaptation et aux mesures préventives (Füssel et Klein 2002). Les principes directeurs de cette démarche ont été formalisés dans l'*Adaptation Policy Framework for Climate Change*¹⁴ (Lim et al. 2005, Figure I-21). L'analyse doit porter sur la vulnérabilité passée et présente liée à la variabilité climatique et aux phénomènes extrêmes, sur les stratégies d'adaptation existantes et sur la manière dont ces stratégies pourraient être modifiées avec le changement climatique (TERI 2005). À partir de l'observation effective des risques actuels et de la manière dont les communautés y font face, des risques nouveaux peuvent être introduits. Ainsi, le point de départ n'est pas le climat futur mais les communautés locales actuellement existantes. Par rapport aux recherches évaluant les impacts du changement climatique à long terme, ces évaluations de mesures d'adaptation ont généralement un horizon temporel plus court et une étude géographique plus détaillée (Füssel et Klein 2002). La nécessité d'une implication étroite des acteurs locaux y est soulignée.

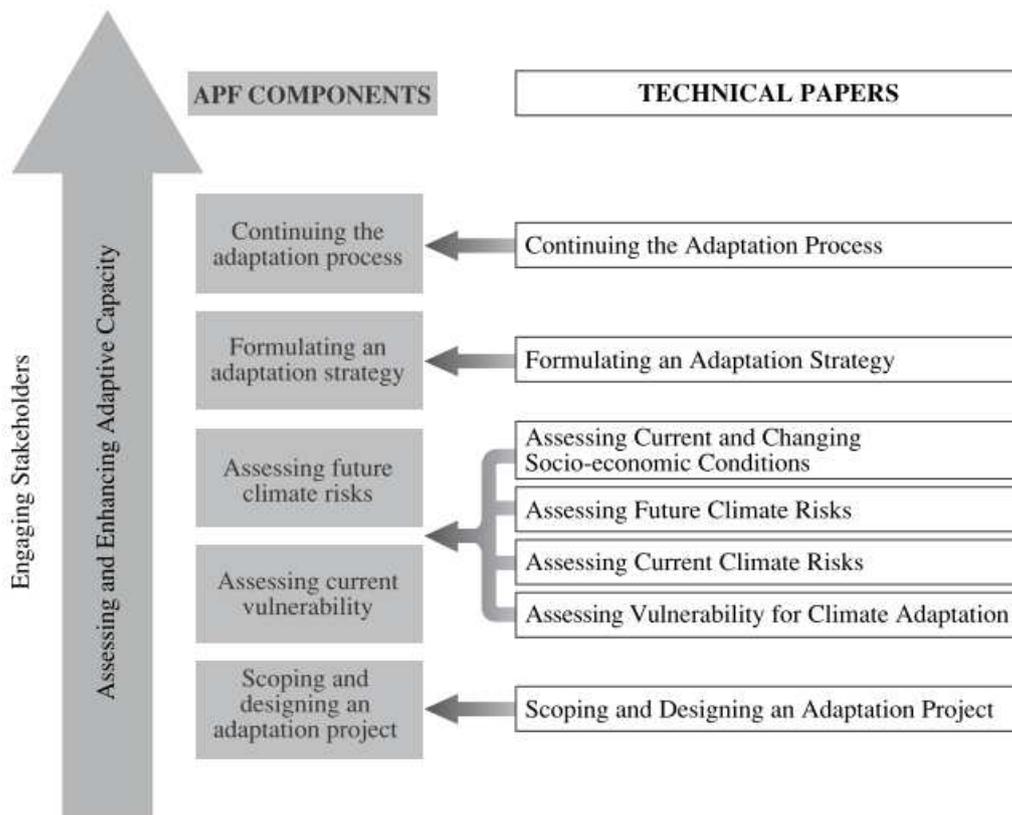


Figure I-21. Cadre d'orientation pour l'adaptation (Lim et al. 2005)

Plusieurs programmes se sont inspirés de l'*Adaptation Policy Framework* (Van Aalast et al. 2008). Ces recherches examinent les besoins et les capacités en matière d'adaptation d'une communauté ou d'une région particulière dans l'optique d'identifier quels sont les moyens de mise en œuvre des mesures d'adaptation et comment améliorer leur capacité

¹⁴ Cadre d'orientation pour l'adaptation

d'adaptation (Smit et Wandel 2006). Les processus de décision, le savoir et l'expérience de la communauté face à des conditions changeantes et dans la gestion des risques sont analysés dans une finalité opérationnelle. En effet, ce type d'analyse permet d'évaluer ce qui peut être fait et par quels acteurs pour réduire la vulnérabilité aux conditions problématiques pour la communauté (*ibid.*). D'après Burton *et al.* (2002), la capacité d'adaptation dépend de la volonté ou de l'intention de la déployer pour réduire la vulnérabilité. Les critères utilisés pour identifier et évaluer différentes mesures d'adaptation sont la disponibilité, les coûts, l'efficacité, la performance et la faisabilité (Füssel et Klein 2002). La faisabilité d'une mesure est analysée au niveau des moyens requis et des acteurs impliqués, mais aussi de son intégration dans les autres problématiques et politiques de la région concernée. Cette intégration est primordiale étant donné que l'un des principaux apports de ces recherches est d'avoir montré qu'il est extrêmement peu probable qu'une mesure d'adaptation soit prise en fonction du changement climatique uniquement (Smit et Wandel 2006). Le développement de stratégies d'adaptation réalisables nécessite un dialogue intense entre chercheurs et décideurs locaux lors du processus d'évaluation. Ce dialogue doit permettre d'atteindre les quatre objectifs suivants : « *to identify the needs and priorities of stakeholders, to establish trust in the assessment team and methodology, to facilitate mutual learning, and to ensure that suggested policies are compatible with other policy goals such as sustainable development, economic diversification, and biodiversity conservation* »¹⁵ (Füssel et Klein 2002). Cette approche vise ainsi à faciliter l'intégration de la problématique du changement climatique dans les politiques relatives à d'autres domaines (gestion des risques, aménagement du territoire, gestion de l'eau et des autres ressources, politiques de développement). Ce principe est désigné par le terme « *mainstreaming* » dans la recherche anglo-saxonne (Kelly et Adger 2000). La question des incertitudes entourant les futurs changements climatiques doit être partie intégrante du dialogue entre chercheurs et acteurs afin de définir des stratégies d'adaptation robustes. Enfin, l'influence des enjeux de pouvoir et l'interprétation de la problématique du changement climatique par les acteurs sont des facteurs sociaux importants dans l'évaluation de la capacité à s'adapter et dans la mise en place de politiques d'adaptation efficaces (Simonet 2011). L'exigence de cette démarche, tant pour les gestionnaires que pour les scientifiques montrent la complexité du processus de définition de stratégies d'adaptation.

¹⁵ Identifier les besoins et les priorités des responsables territoriaux, établir un rapport de confiance avec l'équipe d'évaluation et envers la méthodologie, faciliter l'apprentissage mutuel et s'assurer de la compatibilité des politiques proposées avec les autres objectifs politiques tels que le développement durable, la diversification économique et la protection de la biodiversité.

Conclusion

Le devenir des territoires littoraux méditerranéens, « *hot spots* » du changement climatique, présente de nombreuses zones d'ombre, soulevées notamment par le renforcement annoncé de la fréquence et de l'intensité des aléas et les incertitudes relatives au changement climatique. Les incertitudes scientifiques placent les gestionnaires dans un contexte décisionnel délicat, qui ne doit pas occulter la nécessité de préparer les évolutions à venir. Les politiques d'adaptation au changement climatique, déclinées depuis les échelons institutionnels les plus élevés jusqu'à des échelons territoriaux plus déconcentrés, demeurent de l'ordre du principe général et peinent à intégrer les spécificités territoriales. Face aux insuffisances de cette approche « *top-down* » pour l'élaboration de stratégies d'adaptation, une approche complémentaire s'est développée : basée sur l'identification de la vulnérabilité sociale des territoires et des populations, elle intègre des indicateurs socio-économiques et territoriaux qui déterminent leur capacité d'adaptation (Figure I-22).

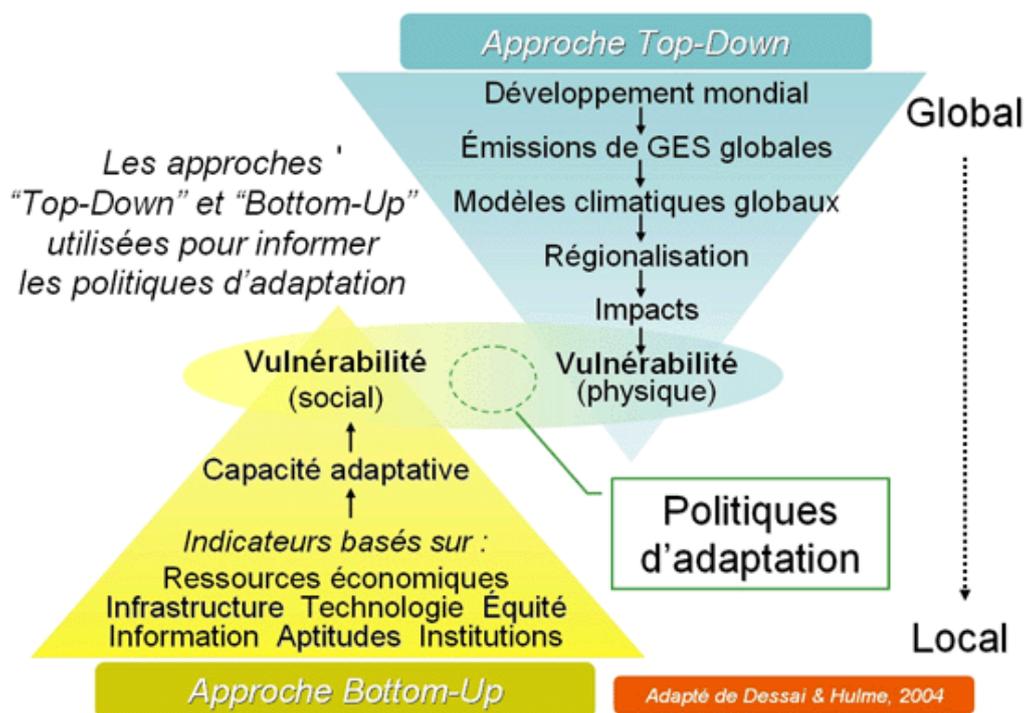


Figure I-22. Les approches "top-down" et "bottom-up" utilisées pour informer les politiques d'adaptation (Bertrand et Simonet 2012, adapté de Dessai et Hulme 2004)

L'évolution des recherches sur le changement climatique est caractérisée par l'intégration progressive de déterminants non-climatiques et d'une prise en considération des politiques d'adaptation (Füssel et Klein 2002). Les deux approches sont complémentaires pour informer les politiques d'adaptation. Le caractère pluridisciplinaire des recherches se

renforce, les sciences humaines ayant une place centrale dans la démarche « *bottom-up* ». **L'identification et l'évaluation des capacités d'adaptation, au niveau générique comme au niveau de territoires spécifiques, demeurent néanmoins problématiques et justifient le développement d'une approche géographique permettant une meilleure connaissance de l'adaptabilité des territoires (H4). Cette approche devrait permettre de mettre en évidence des leviers et des freins pour renforcer l'adaptabilité des territoires et contribuer ainsi au choix de mesures d'adaptation en adéquation avec les contextes territoriaux (H5).**

Conclusion du Chapitre I

La littoralisation a profondément marqué l'évolution des territoires littoraux de l'Arc Latin depuis la seconde moitié du XXe siècle. Ces territoires ont connu des évolutions structurelles et géographiques importantes, en termes de peuplement, d'économie résidentielle, tertiaire et touristique, et d'organisation urbaine et spatiale de l'ensemble de ces fonctions. Le développement touristique et résidentiel a conduit à une forte concentration de population et un étalement urbain important sur les littoraux, qui n'ont pu être maîtrisés du fait des faiblesses des dispositifs réglementaires (Figure I-23).

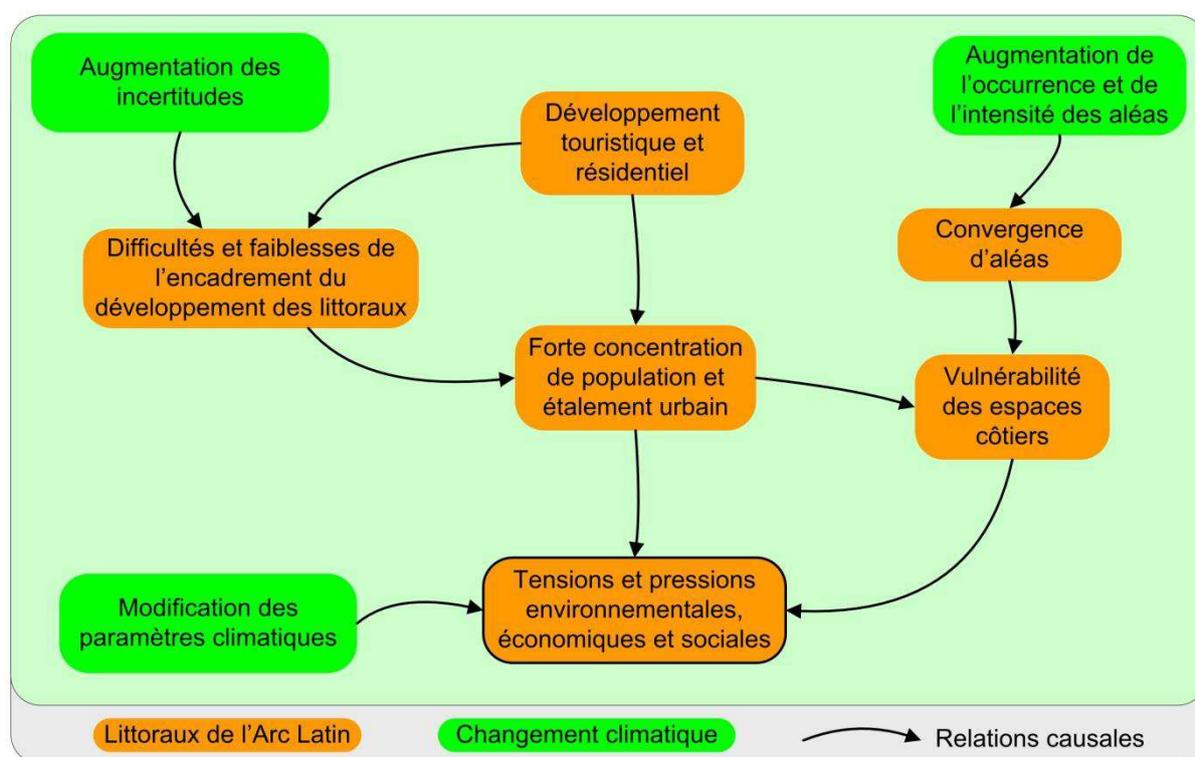


Figure I-23. Cumul et renforcement des pressions sur les littoraux de l'Arc Latin

Avec la croissance de la population, l'espace de développement s'est progressivement étendu le long des côtes, puis à l'intérieur des terres. Cette concentration de population et la vulnérabilité des espaces côtiers, où convergent de multiples aléas, sont à l'origine de tensions et de pressions environnementales, économiques et sociales, qui ne cessent de s'accroître. Le changement climatique, annoncé comme facteur majeur de bouleversement pour la Méditerranée du XXI^e siècle, devrait en outre renforcer ces pressions. La modification des paramètres climatiques, l'augmentation de l'occurrence et de l'intensité des aléas et enfin l'augmentation des incertitudes (Figure I-23) placent les gestionnaires dans un contexte

décisionnel délicat. Les enjeux soulevés par ces évolutions rendent nécessaires le développement d'un socle de connaissances prospectives permettant de mieux les anticiper.

C'est l'objectif de cette thèse, qui vise à **évaluer le devenir des dynamiques de littoralisation et à identifier les capacités d'adaptation des territoires dans le contexte du changement climatique**. Tout au long de ce chapitre I, plusieurs orientations et hypothèses de recherche ont émergé. La forte structuration des dynamiques spatiales décrite par le modèle de la littoralisation (concentration sur quelques pôles urbains littoraux, formation d'une conurbation littorale, redéploiement vers l'intérieur des terres) nous amène à penser que **les dynamiques de littoralisation s'inscriraient dans une logique d'évolution spatio-temporelle pouvant informer sur leurs évolutions prochaines (H1)**. Ainsi notre analyse prospective sera basée sur une analyse rétrospective des processus de littoralisation où la dimension spatiale tiendra une place centrale. Nous pensons en outre que les régions littorales ne sont pas uniquement différenciées par leurs stades de littoralisation mais que **leurs dynamiques ne sont pas homogènes et présentent des évolutions spatio-temporelles différentes (H2)**. Une approche comparative au sein de l'Arc Latin, appréhendant le phénomène à une échelle spatiale fine et sur un temps long, est requise pour identifier ces différentes trajectoires de littoralisation. **L'analyse prospective de ces différentes trajectoires devrait fournir une information pertinente pour une gestion anticipatrice et différenciée des dynamiques de littoralisation (H3)**. Enfin, face à la nécessité de développer de nouvelles approches scientifiques pour aider à la définition de politiques d'adaptation au changement climatique, nous pensons que **la géographie, par ses savoir-faire en termes d'analyse du fonctionnement et des propriétés des systèmes spatiaux, peut contribuer à identifier les facteurs favorisant l'adaptation des territoires et ses obstacles (H4) et ainsi contribuer au choix de mesures d'adaptation en adéquation avec les contextes territoriaux (H5)**.

Chapitre II. Démarche, méthodes et concepts pour une analyse prospective des littoraux de l’Arc Latin dans le contexte du changement climatique

Les deux champs thématiques de cette recherche, à savoir les processus de littoralisation et l’adaptation des territoires littoraux au changement climatique, sont liés à la question de l’évolution des littoraux et de la manière dont le changement intervient au sein des territoires. Le chapitre II présente les fondements théoriques, la démarche et les méthodes de notre recherche, dont le postulat essentiel porte sur le rôle joué par l’espace et son organisation dans l’évolution des territoires. Sont aussi développées les notions de trajectoires de littoralisation et d’adaptabilité des territoires.

1. Deux axes de recherche mais une problématique commune : analyser les possibilités d’évolution des territoires littoraux à travers leur composante spatiale

À partir de l’état de l’art du chapitre I, deux enjeux de connaissance ont émergé : d’une part, anticiper les processus de littoralisation, et d’autre part, identifier les capacités d’adaptation des territoires dans le contexte du changement climatique. Derrière ces deux axes de recherche, la problématique est commune : il s’agit d’analyser les possibilités d’évolution des territoires littoraux à travers leur composante spatiale. Le positionnement de cette problématique de recherche, à la fois prospective et spatiale, ses fondements théoriques et son cadre méthodologique sont à présent explicités.

1.1. Une problématique prospective et spatiale

1.1.1. Évaluer le devenir des processus de littoralisation et identifier les capacités d'adaptation des territoires dans le contexte du changement climatique

Notre recherche s'inscrit dans un objectif d'évaluation des potentialités d'évolution des territoires littoraux et dans une optique d'aide à la décision et de durabilité territoriale. Le chapitre I a permis de faire émerger deux enjeux de connaissance liés à cet objectif : **Quelles sont les dynamiques à venir des processus de littoralisation de l'Arc Latin et comment les évaluer ? Quelles sont les capacités d'adaptation des territoires dans le contexte du changement climatique et comment les identifier ?** Dans ces deux axes de recherche apparaît la **nécessité de développer une connaissance spatialisée du fonctionnement des territoires permettant d'anticiper leurs évolutions possibles**. Pour l'axe 1, il s'agit d'étudier un processus – la littoralisation – qui est déjà à l'œuvre depuis plusieurs décennies sur les régions de l'Arc Latin. Une analyse rétrospective est envisagée afin de replacer les évolutions en cours dans le temps long, d'identifier différents modèles d'évolution par une approche comparative et d'appuyer l'analyse prospective. Pour l'axe 2, il s'agit d'identifier, dans les composantes et propriétés d'un territoire et dans son fonctionnement passé et actuel, les facteurs qui pourraient favoriser ou limiter son adaptation face aux changements climatiques à venir. Cette démarche correspond également à un positionnement prospectif.

L'état des connaissances du chapitre I a permis de poser cinq hypothèses qui vont guider les analyses visant à répondre à ces questionnements. Les trois premières hypothèses concernent l'anticipation des dynamiques de littoralisation : les dynamiques de littoralisation se traduiraient par différents modèles d'évolution spatio-temporelle (H2), pouvant informer sur leurs évolutions prochaines (H1), et fournir une information pertinente pour une gestion anticipatrice et différenciée (H3). Les deux dernières hypothèses concernent l'identification des facteurs d'adaptabilité des territoires : l'analyse géographique et systémique du fonctionnement des territoires littoraux, intégrant leurs spécificités locales et leur dimension spatiale, peut contribuer à identifier les éléments favorables et défavorables à leur adaptation (H4) et fournir une information utile pour le choix de mesures d'adaptation qui soient en adéquation avec les contextes territoriaux (H5). Ces hypothèses ont en commun le développement d'une approche exploratoire et la perspective d'une aide à la décision pour une gestion anticipatrice des dynamiques de littoralisation et des impacts du changement climatique. Elles reposent sur le même postulat selon lequel les territoires évoluent, non seulement par les forces motrices qui s'y exercent (littoralisation et changement climatique dans notre cas), mais aussi par leurs caractéristiques propres (organisation spatiale, dynamique générale d'évolution, fonctionnement systémique, etc.). L'ensemble des hypothèses met l'accent sur **la différenciation de l'espace et son rôle dans l'organisation et**

les évolutions des territoires. Finalement, l'objectif commun est d'analyser les possibilités d'évolution des territoires littoraux à travers leur composante spatiale. Cette conception correspond à l'approche développée en analyse spatiale, dont les fondements théoriques vont être explicités (cf. Chapitre II.1.2.1). Auparavant, l'importance de cette dimension spatiale dans le contexte de la recherche d'un développement durable des territoires littoraux est développée.

1.1.2. L'importance de la dimension spatiale dans le cadre de la recherche d'un développement durable des territoires littoraux

Suite à l'émergence des préoccupations environnementales (1972), à la parution du rapport Brundtland (1987) et à la signature de la Déclaration de Rio en 1992, le développement durable devient à la fin des années 1990 le nouveau référentiel de l'aménagement du territoire. Les moyens de concilier développement économique, préservation de l'environnement et équité sociale sont néanmoins confrontés à la complexité de la problématique. La mise en place d'un développement durable, nécessitant une prise en compte des interdépendances spatiales, temporelles et sectorielles, requiert une vision territorialisée (Laganier *et al.* 2002). La problématique de la mise en territoire du développement durable (Carrière *et al.* 2013) se heurte au fait qu'il ne peut exister de modèles transposables, ni au niveau normatif en termes d'objectifs à atteindre, ni au niveau des stratégies à mettre en place pour atteindre ces objectifs (*ibid.*). Le développement durable impose un aménagement différencié et anticipateur des territoires (Casanova 2010) et une décision publique ascendante. La problématique du changement climatique repose avec acuité et urgence le défi d'une mise en œuvre effective des grands principes du développement durable (Bertrand et Rocher 2007). Les enjeux associés aux objectifs d'atténuation et d'adaptation renouvellent les débats et les questions sur les modalités de l'action publique initialement soulevés par la territorialisation du développement durable : « jeux d'échelles global/local, soutenabilité de la croissance économique, solidarité/responsabilité entre territoires (espace) et entre générations (temps) », « décider et agir en situation d'incertitude, obligation de « faire à plusieurs », prise en compte d'interdépendances multiples » (Bertrand 2012). Les stratégies d'adaptation doivent ainsi s'inscrire dans les projets de territoire durable et ne peuvent être transposées d'un territoire à l'autre du fait de la variabilité territoriale des facteurs influençant la vulnérabilité, les capacités de réponses ou encore les perceptions du changement climatique (Carrière *et al.* 2013).

Face aux menaces croissantes, la DIACT a souligné en 2004 la nécessité de mettre en œuvre un développement équilibré et durable des façades maritimes. Dans les territoires attractifs que sont les zones côtières, la définition du juste équilibre entre les possibilités et besoins de développement d'une part et la protection de l'environnement d'autre part est en

effet une question cruciale lors de la mise en place de plans régionaux (Faričić 2006). D'après l'Agence Européenne pour l'Environnement (EEA 2006), les politiques des zones côtières ne prennent pas suffisamment en compte le caractère spatial et complexe de ces territoires. Pourtant, face aux mutations et disparités spatiales induites par le processus de littoralisation, on peut penser que cet équilibre à trouver n'est pas seulement fonctionnel mais aussi spatial, dans la répartition des hommes et des activités au sein des régions littorales.

D'une part, la littoralisation correspond à des dynamiques spatiales spécifiques (cf. Chapitre I.1.3.1), correspondant à un inversement de la polarisation initiale des territoires littoraux (Goiffon 2005). Aux activités traditionnelles maritimes et agricoles qui ont structuré les territoires littoraux dans le passé s'est substitué, au cours des dernières décennies, un ensemble d'usages et d'activités, d'abord industrielles puis touristiques et résidentielles, qui ont profondément modifié l'espace littoral (DIACT 2004). La littoralisation correspond ainsi à des mutations dans l'organisation spatiale des littoraux. Ces évolutions spatiales sont révélatrices des processus à l'œuvre, ainsi que des arbitrages qui s'y jouent. L'analyse de l'évolution de l'organisation spatiale des régions littorales peut ainsi permettre d'appréhender le résultat des processus sous-jacents.

D'autre part, les conséquences territoriales liées aux processus de littoralisation en cours se manifestent au niveau spatial, comme par exemple la progression de l'artificialisation, les conflits d'usage ou encore la ségrégation résidentielle (cf. Chapitre I.1.1.3). L'espace est à la fois à la base de la littoralisation, avec le développement des localisations à proximité du rivage, et sa limite, comme le montre la saturation de certaines portions du littoral. Le problème de la maîtrise des processus de littoralisation renvoie à la question de la consommation d'espace, qui s'effectue au détriment d'autres usages, l'espace étant une ressource limitée. Les espaces disponibles constituent en effet une ressource épuisable, dont la valeur est d'autant plus forte lorsqu'ils se raréfient, comme en témoigne l'évolution des valeurs foncières sur les littoraux. L'organisation spatiale des littoraux est aussi un élément clef en ce qui concerne les impacts territoriaux du changement climatique. La vulnérabilité des territoires à ces changements climatiques dépend fortement de la concentration des hommes et des activités à proximité du rivage (cf. Chapitre I.2.1.3). L'expansion des constructions et infrastructures et leur rapprochement du littoral au détriment des systèmes naturels, qui agissent normalement comme zones tampons entre la mer et la terre, augmentent la vulnérabilité des zones côtières face aux changements climatiques.

Enfin, les réponses apportées en termes d'aménagement du territoire sont également de l'ordre du spatial : bande d'inconstructibilité à moins de 100 ou 200 mètres du rivage de la loi Littorale et de la Ley de Costas, délimitation d'espaces naturels protégés et de zones à urbaniser. Ces réglementations induisent en outre des effets spatiaux peu désirables dont il

faut tenir compte : tendance à la compartimentation du territoire, report de la pression urbaine sur les espaces non protégés, etc. (cf. Chapitre I.1.2.2). De plus, une organisation spatiale cohérente des zones côtières devrait permettre la réduction des vulnérabilités liées au changement climatique (EEA 2006). Parmi les stratégies d'adaptation des littoraux aux changements climatiques actuellement envisagées, le recul de l'occupation anthropique ainsi que la soustraction de certaines parties du bord de mer à l'urbanisation pourraient permettre d'éviter certains impacts irréversibles sur les aménagements humains. Il s'agit alors de réduire la vulnérabilité des systèmes socio-environnementaux face aux impacts du changement climatique.

Dans l'optique d'un développement durable des littoraux, il paraît ainsi particulièrement important d'analyser les organisations spatiales soumises à la littoralisation et au changement climatique. De surcroît, l'espace n'est pas seulement une dimension de la durabilité des territoires littoraux, il est aussi un déterminant de leur évolution.

1.2. Fondements théoriques et cadre méthodologique : analyse spatiale, approche systémique et démarche de prospective spatiale

1.2.1. L'espace, déterminant de l'organisation et de l'évolution des territoires

Suivant la définition proposée par A. Moine (2006), le territoire est un « système complexe évolutif ». Cette conception systémique (Morin 1990, Le Moigne 1999) décrit le territoire comme « un tout, composé de sous-systèmes, d'éléments, et surtout de relations multiples, notamment des boucles de rétroaction positive ou négative, qui évoluent dans le temps » (Moine 2006). La définition met l'accent sur une boucle de rétroaction dominante, liant les deux sous-systèmes essentiels que sont l'espace géographique et l'ensemble des acteurs (Figure II-1). Ces acteurs sont les individus, les entreprises, l'État, les collectivités, la société civile et les intercommunalités. L'espace géographique comprend quant à lui l'ensemble des lieux et les relations, visibles et invisibles, qu'ils entretiennent. L'espace géographique est utilisé et aménagé par les sociétés en vue de leur reproduction (Brunet *et al.* 1992). Les représentations qu'ont les acteurs de l'espace géographique dépendent d'un ensemble de filtres (individuel, idéologique, sociétal) qui vont influencer leur action sur celui-ci (Moine 2006). L'espace géographique, au sein duquel apparaissent les organisations spatiales, agit en retour sur les acteurs : « L'espace est à la fois environnement et partie des sociétés ; produit et agent de leur production et reproduction » (Brunet 1980).

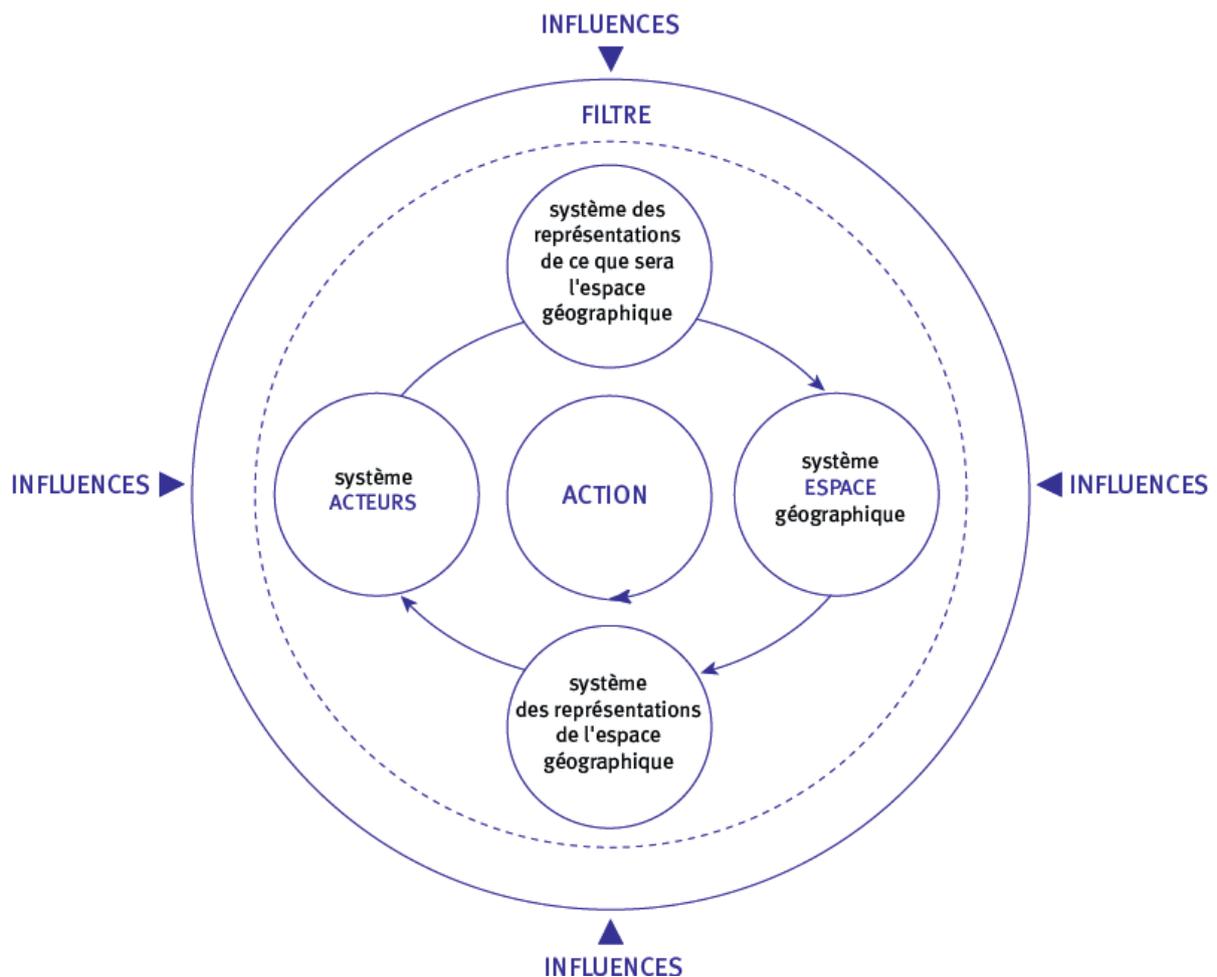


Figure II-1. La boucle de rétroaction liant les composantes du système territorial (Moine 2006)

L'espace géographique est à la fois « organisé et organisant » : « Si la société produit l'espace, les éléments spatiaux rétroagissent également sur l'action de la société en créant des contraintes ou, au contraire, en exerçant une attractivité » (Voiron-Canicio et Chéry 2005). La différenciation de l'espace géographique contribue ainsi à ordonner l'action des Hommes, en fonction de leurs systèmes de valeurs et de représentations. En effet, « L'espace est un potentiel que les agents réexaminent et réévaluent continuellement en fonction de leurs besoins et de leurs aspirations, au regard des dynamiques et des potentialités des autres territoires » (Voiron-Canicio et Chéry 2005). Par exemple, la distribution dans l'espace des terres urbanisées par une société et ses individus correspond à un processus complexe, qui résulte de la volonté de jouir de certaines aménités et de réduire certaines contraintes, comme celle de la distance. La littoralisation résulte ainsi d'une volonté de réduire la distance à la mer dans la perspective de profiter d'aménités diverses : opportunités d'emploi, paysages et vue sur mer (Robert 2009), pratiques balnéaires, services concentrés dans les pôles urbains littoraux, etc. Les forces d'organisation des acteurs donnent aux espaces des rôles, des contenus et des aspects différents (Charre 1995), mais ces propriétés résultent aussi de l'organisation passée et présente de l'espace géographique. L'organisation d'un territoire

évolue ainsi en fonction de la société qui l'occupe, mais aussi des propriétés de l'espace géographique, et notamment de son inertie. L'espace géographique comporte en effet un « héritage spatial » lié aux structures spatiales existantes qui tendent à se maintenir à travers le temps (Voiron-Canicio 2012). Héritages et potentiels de l'espace géographique s'inscrivent dans les projets des acteurs et contribuent ainsi à déterminer non seulement l'organisation du territoire mais aussi son évolution. Les interactions entre société et espace géographique intervenant dans les processus d'organisation d'un territoire sont en effet complexes et évolutives. Selon C. Voiron-Canicio et J.-P. Chéry (2005), elles peuvent conduire « à d'éventuels repositionnements des lieux et des objets dans le système [territorial] ». Outre cet « espace reçu » (Figure II-2), caractérisé par les « pesanteurs spatiales » et différents degrés d'inertie, « la spatialisation des activités humaines obéit à un certain nombre de règles, de « lois du fonctionnement spatial », dont certaines atteignent un grand degré d'universalité, et dont les sociétés ont du mal à s'affranchir » (Durand-Dastès 1991). Ces règles renvoient aux propriétés de l'espace géographique, dont la spécificité fondamentale est le « principe d'exclusion », qui limite les superpositions et les coexistences en un même lieu. Ce principe est à la base de l'introduction de l'espacement entre les objets géographiques et de leur résultante mise en relation. Il est ainsi fondateur de l'existence des systèmes spatiaux, produit des sociétés, dont les éléments sont des objets spatiaux (entités spatiales munies d'attributs), et dont les relations sont des flux matériels ou immatériels. Parmi les lois de l'organisation de l'espace, R. Brunet (2001) a défini quatre règles essentielles : la règle de la cible, relative à la compétition pour l'espace, la règle de la base, liée au rendement de l'espace, la règle du relais, relative au franchissement de la distance, et la règle du cantonnement, liée à l'espacement maximal acceptable entre deux objets géographiques. Ces lois de l'espace concernent aussi des processus d'évolution des systèmes spatiaux. Présentant les principaux outils de conceptualisation du changement spatial, D. Pumain (1998a) recense la théorie de la diffusion spatiale des innovations, les théories du développement spatial inégal, dont résulte le modèle centre-périphérie, ou encore les réorganisations spatiales issues de l'accélération des vitesses de circulation et de la contraction de l'espace-temps.

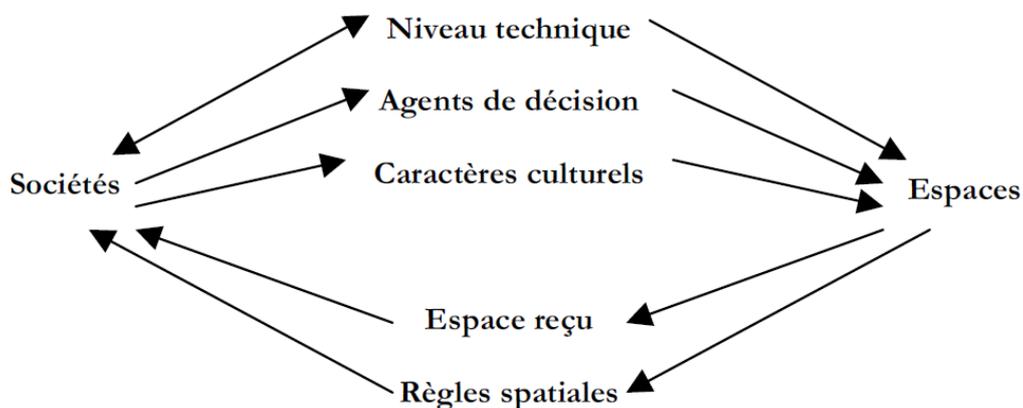


Figure II-2. Relations entre espaces et sociétés (Durand-Dastès 1991)

Ces relations entre sociétés et espace géographique sont l'objet de l'analyse spatiale, qui place la causalité spatiale au centre de son approche. L'analyse spatiale étudie non seulement comment les sociétés produisent et organisent leur espace, mais aussi comment l'espace canalise les flux économiques, sociaux et culturels et ordonne en partie l'action des agents. L'évolution de l'organisation de l'espace peut être observée à travers les dynamiques spatiales qui traduisent le résultat des forces à l'œuvre sur le territoire, des processus en cours, des effets réciproques entre société et espace géographique. Tout comme la structure spatiale traduit le principe d'organisation de l'espace géographique, la dynamique spatiale informe sur la logique d'évolution des territoires. Déterminant de l'évolution des systèmes territoriaux, l'espace géographique est aussi un marqueur de cette évolution, que les méthodes et outils de l'analyse spatiale permettent de mettre en lumière. La théorie des systèmes permet en outre d'enrichir l'explication en analyse spatiale par la perspective temporelle.

1.2.2. Développement de la perspective temporelle en analyse spatiale à travers la dynamique des systèmes

Les travaux en analyse spatiale, privilégiant la dimension horizontale dans l'explication géographique, ont d'abord investi « la recherche des invariants spatiaux, des régularités, mettant en lumière les structures fortes organisant un territoire particulier » (Elissalde 2000). En 1990, C.-P. Péguy soulignait que si la géographie ne voulait pas devenir la « science de l'éphémère », elle devait se présenter « comme l'étude des systèmes spatiaux, certes, mais de systèmes ayant des temps de réponse, et dont les trajectoires s'inscrivent dans la durée ». Selon D. Pumain (2003), la quête théorique de l'analyse spatiale nécessitait de « passer de l'observation des régularités à l'analyse des processus, de l'identification de « combinaisons » ou de structures, à l'étude du changement susceptible de les produire et de les transformer ». La référence à la dynamique des systèmes permet de faire le lien entre systèmes spatiaux et temporalités. La systémique correspond à une méthode scientifique fondée sur les quatre concepts d'interaction, de globalité, d'organisation et de complexité (Durand 2004). Elle permet d'étudier les dynamiques et l'évolution du comportement des systèmes à travers les concepts de rétroaction, de régulation et de conservation. L'analyse spatiale adopte « une conception du temps inspirée du principe systémique c'est-à-dire qu'il est perçu en termes de continuités et de ruptures, de processus, de mouvements, de discontinuités qui existent à travers différentes temporalités spatiales » (Casanova 2010). Ce sont « les durées variables des structures spatiales, les événements spatiaux, les phases de transition territoriale et les phénomènes de résilience qui contribuent au changement spatial » (Elissalde 2000).

Par modélisation conceptuelle et chorématique des systèmes géographiques et/ou par modélisation dynamique et simulation spatiale, l'analyse géographique s'est enrichie des multiples concepts relatifs aux propriétés de la dynamique des systèmes : systémogénèse,

bifurcation, homéostasie (Auriac 1979, Le Berre 1987a, Moine 2003), rétroaction (Chéry 1998, Voiron-Canicio 2006), résilience (Aschan-Leygonie 1998, 2000, Dauphiné et Provitolo 2007), trajectoire, auto-organisation, émergence, système adaptatif (Pumain 1998b, 2010), échange, régulation, interface (Lampin-Maillet *et al.* 2010). La transposition de ces concepts en géographie permet de dépasser « l'historicisme » (Elissalde 2000) et une « géographie de la mise à jour » (Pumain 1998a), en mettant en valeur des logiques générales de fonctionnement des espaces régionaux et des temporalités différenciées des composantes spatiales. Les concepts d'auto-organisation et de résilience permettent de comprendre comment des systèmes et structures spatiales peuvent se maintenir alors que les processus qui les produisent se sont modifiés. La bifurcation, correspondant à un changement dans la structure et les interrelations du système, est produit par « les discordances observées dans les structures spatiales qui font entrer le territoire considéré dans une transition systémique » (Elissalde 2000). Ces phases de « transition territoriale » entre deux systèmes spatiaux identifiables, caractérisées par une absence de mécanismes d'auto-organisation, créent « des situations propices à l'aléatoire et à la multiplicité des futurs possibles » (Elissalde 2000). La dynamique des systèmes combine ainsi « des trajectoires stables et des moments d'instabilité, durant lesquels l'état macroscopique du système peut évoluer vers différentes formes d'organisation, de manière imprévisible, selon des bifurcations » (Pumain 2003).

Observer les transformations des structures des systèmes spatiaux et s'intéresser aux processus opérant ces différenciations s'inscrit dans la perspective d'une théorie géographique du changement (Pumain 2003), permettant d'étudier « de façon nomothétique le changement des structures géographiques » (Pumain 1998a), « tout en réfutant les rigidités réduisant le futur à un simple prolongement des tendances du présent » (Elissalde 2000). Cette conception de l'évolution des territoires permet « de dépasser les notions d'unicité et de non-reproductibilité des événements dans leur approche historique, pour admettre que les phénomènes géographiques puissent être formalisables sous forme de processus séquencés selon des pas de temps adaptés aux objets étudiés » (Elissalde 2005). S'agissant « d'interpréter le fonctionnement des systèmes spatiaux anciens et futurs et de détecter, à travers les ruptures ou les modifications de structure, les indices d'un changement spatial dans le lieu étudié » (Elissalde 2000), cette démarche peut revêtir une finalité prospective.

1.2.3. La prospective spatiale, la recherche de règles et de marqueurs spatiaux des évolutions à venir des territoires

Alors que les premiers travaux en prospective stratégique se référaient au territoire uniquement en tant que cadre institutionnel (Berger 1958, DATAR 1971), la prospective territoriale, développée à partir des années 1990, intègre une vision régionalisée des territoires (APUR 1990, Conseil Économique et Social Région Midi-Pyrénées 2000). L'espace n'y est

cependant envisagé qu'en tant que support des phénomènes économiques et sociaux (Emsellem *et al.* 2012). Dans la décennie 2000, les travaux de la DATAR évoluent vers une prise en compte de l'espace « opérateur de changement » (Dartout et Cordobes 2010), à travers la spatialisation des phénomènes et des scénarios, l'exploitation de connaissances complexes et spatialisées, et la mise en œuvre de méthodologies plus quantitatives et formalisées (Mousil et Durance 2010).

Face aux « difficultés de la prospective territoriale à prendre en compte les logiques et dynamiques de différenciation spatiale localement à l'œuvre dans les territoires », L. Casanova (2010) développe les fondements théoriques et les applications méthodologiques de la prospective spatiale. Cette approche prospective « replace l'espace et ses principes de différenciation, sa logique de changement et ses contraintes au cœur de l'analyse de l'évolution des territoires ». L'approche en prospective spatiale « se détourne de la question de la nature des évolutions à venir et de la qualification du changement qui relève plutôt du domaine de l'approche prévisionnelle » (Casanova 2010). La position défendue « postule le rôle majeur joué par l'espace et les structures spatiales dans l'évolution des systèmes territoriaux et la nécessité d'étudier leur trajectoire » (*ibid.*). La prospective spatiale correspond ainsi à la mobilisation du corpus théorique et méthodologique de l'analyse spatiale à des fins prospectives. L'évolution de l'espace est envisagée dans une perspective nomothétique. Il s'agit « d'investir une recherche sur les principes d'évolution, les récurrences dans les modalités d'apparition du changement, les éléments stratégiques des trajectoires » (*ibid.*). **En cherchant, d'une part, à anticiper les dynamiques spatiales de littoralisation par une analyse des modalités d'évolution spatio-temporelle des territoires de l'Arc Latin, et d'autre part, à identifier les capacités d'adaptation de territoires dans le contexte du changement climatique par une analyse des propriétés du changement spatial et territorial, notre démarche de recherche s'inscrit pleinement dans les travaux de prospective spatiale.**

Dans la thèse de L. Casanova (2010) portant sur la Provence intérieure, littorale et préalpine, les logiques d'acquisition du foncier à bâtir traduisent les processus de production et de transformation de l'espace géographique et informent sur les changements territoriaux à venir. Les outils de l'analyse spatiale (statistique spatiale, modélisation graphique, etc.) sont mobilisés dans une démarche exploratoire où sont étudiées les dynamiques spatiales, temporelles et spatio-temporelles des territoires : « ces trois façons d'étudier l'évolution des territoires renseignent successivement sur leur potentialité de développement, leur sensibilité au changement ainsi que sur le degré de liberté de leur devenir » (*ibid.*). L'objectif est de « mettre en lumière les éléments qui participent à la détermination spatio-temporelle de l'évolution du territoire et qui impliquent des modalités de l'action d'aménagement adaptées à [ses] enjeux ». La finalité est donc double, à la fois heuristique - puisque la prospective

spatiale précise la connaissance des modes d'évolution des territoires - et opérationnelle : « L'objectif de la prospective spatiale est d'envisager les manières dont peut se produire du changement sur l'espace ainsi que ses incidences, pour mieux le préparer et s'y préparer, ce qui revient à s'interroger sur les modalités de différenciation à venir d'un espace » (*ibid.*). La prospective spatiale postule que l'avenir est contraint dans son évolution par l'organisation spatiale en place et refuse de le considérer comme le résultat d'un prolongement de tendances. Elle met en évidence les possibilités d'actions offertes, en fonction des contraintes et des caractéristiques des espaces, et qui doivent par la suite être discutées collectivement. Elle constitue ainsi un support pour la réflexion précédant l'action, en renseignant sur la temporalité, les marges de manœuvre et le type d'action territoriale en cohérence avec la logique de changement des espaces.

La prospective spatiale, telle que définie par L. Casanova, ne recourt pas à la « méthode des scénarios » (DATAR 1975). L'horizon prospectif multiple est calqué sur les temporalités multiples des systèmes territoriaux. La prospective spatiale relève du champ de la géoprospective, qui « n'a pas de définition arrêtée mais peut être présentée comme un ensemble de pratiques visant à anticiper à moyen et/ou long terme les devenirs des espaces, soit en explorant les futurs plausibles [...] dans le but d'éclairer les décisions d'aménagement et de gestion des territoires » (Gourmelon *et al.* 2012). La géoprospective se caractérise par différentes étapes (diagnostic, modélisation, simulation et présentation des résultats) où l'espace occupe toujours une place centrale (Emsellem *et al.* 2012). La spécificité de la géoprospective est d'explorer les évolutions possibles au moyen de simulations spatiales. Celles-ci se basent sur des scénarios intégrant des connaissances objectives et subjectives sur les devenirs plausibles et les germes de changement (Voiron-Canicio 2012). Les outils de simulation spatiale (automate cellulaire, système multi-agents, morphologie mathématique, etc.) permettent de spatialiser finement l'évolution des espaces étudiés.

Conclusion

L'état de l'art du chapitre I avait permis de faire émerger deux objectifs pour notre recherche : **évaluer le devenir des processus de littoralisation et identifier les capacités d'adaptation des territoires dans le contexte du changement climatique**. Derrière ces deux axes de recherche, la problématique est commune : il s'agit d'analyser les **possibilités d'évolution des territoires littoraux**. Cette problématique soulève la question des facteurs et des marqueurs de l'évolution des territoires. **Face à l'importance de la dimension spatiale**

dans le cadre de la recherche d'un développement équilibré et durable des littoraux et du fait d'un ensemble d'hypothèses mettant l'accent sur la différenciation de l'espace et son rôle dans l'organisation et les évolutions des territoires, nos fondements théoriques sont ceux de l'analyse spatiale, qui place l'espace à la base de son projet explicatif.

L'analyse spatiale met en évidence les formes d'organisation spatiale et caractérise les processus de spatialisation qui sont à l'origine de ces structures. L'espace géographique, en interaction avec les acteurs des territoires, contribue à déterminer l'organisation et l'évolution spatiale des territoires. D'autre part, la dynamique des systèmes a enrichi l'analyse de l'évolution des systèmes spatiaux, et plus largement territoriaux, à travers de nombreux concepts systémiques contribuant à une conception du changement temporel envisagée en termes de discontinuités, de transitions et de multi-temporalités. Ces concepts relatifs à l'évolution des systèmes ont en outre permis d'envisager le changement des structures géographiques dans une perspective nomothétique, où sont recherchées les logiques générales de fonctionnement et d'évolution des espaces régionaux. Cette connaissance sur les principes spatiaux d'évolution des territoires peut desservir une finalité prospective.

La prospective spatiale, basée sur le cadre théorique et méthodologique de l'analyse spatiale, place l'espace et ses principes de différenciation, sa logique de changement et ses contraintes au cœur de l'analyse de l'évolution des territoires. Elle s'emploie à mettre en lumière les éléments qui participent à la détermination spatio-temporelle de l'évolution du territoire et qui impliquent des modalités de l'action d'aménagement adaptées à ses enjeux. Dans notre problématique générale et pour chacun de nos deux axes de recherche, **nous partageons avec la prospective spatiale les mêmes questionnements relatifs aux modalités d'apparition du changement spatial, le même cadre théorique et méthodologique de l'analyse spatiale, la même démarche exploratoire visant à un diagnostic prospectif de l'évolution des territoires à travers leur composante spatiale, et enfin la même double finalité, heuristique et opérationnelle.** Les démarches adoptées pour chacun des deux axes de recherche vont être plus précisément développées : d'une part, l'analyse des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin pour un diagnostic de leurs évolutions, et d'autre part, l'évaluation de l'adaptabilité des territoires au changement climatique par une analyse systémique et spatiale.

2. Axe 1 : Analyser les trajectoires de peuplement de l'Arc Latin pour un diagnostic des évolutions futures de la littoralisation

Nos trois hypothèses relatives à l'anticipation des processus de littoralisation¹⁶ mettent l'accent sur l'existence de différentes évolutions spatio-temporelles des territoires, qui se traduiraient au sein des dynamiques de population des régions côtières de l'Arc Latin. Pour analyser ces modèles et organiser cette connaissance spatio-temporelle à des fins prospectives, nous mobilisons la notion de trajectoire territoriale.

2.1. L'analyse de trajectoires territoriales

2.1.1. Une analyse des configurations spatio-temporelles et de leurs logiques d'évolution

L'appréhension du temps « comme variable structurelle, au même titre que l'espace », a été développée en géographie dans les années 1970 par Torsten Hägerstrand et l'école suédoise de Lund (Conesa 2010). Selon cette approche, nommée *Time-Geography*, l'environnement spatiotemporel détermine des ressources et des contraintes à partir desquelles les individus définissent leurs trajectoires. Ces trajectoires, qui correspondent alors à des déplacements individuels, sont formalisées comme une succession de positions dans l'espace-temps (Chardonnel 2001). Cette conception spatio-temporelle des phénomènes géographiques a favorisé l'utilisation de la notion de trajectoire dans une autre perspective que celle des mobilités. La notion de trajectoire est employée au sein de travaux relatifs aux mécanismes de transformation des systèmes territoriaux. Selon M.-C. Maurel (2009), le terme de trajectoire territoriale s'est imposé pour exprimer la dimension temporelle des processus de transformation des territoires et relève d'une définition bien souvent implicite. Il ne s'agit plus de trajectoires *dans* l'espace mais des trajectoires *de* l'espace, et plus généralement de territoires à différentes échelles : parcelles (Aguejdad 2009), villes (Bessy-Pietri 2000, Swerts et Pumain 2013), provinces et départements (Hirczak *et al.* 2011), ou encore pays (Bourdin 2013). Il s'agit alors d'analyser les configurations à la fois spatiales et temporelles de processus géographiques et leurs logiques d'évolution.

Comme le souligne L. Casanova (2010), « la trajectoire d'un territoire n'est pas donnée, ni ne renvoie à un élément palpable du réel, elle est avant tout un construit qui

¹⁶ Cf. Chapitre II.1.1.1 : « les dynamiques de littoralisation traduiraient différents modèles d'évolution spatio-temporelle (H2), pouvant informer sur leurs évolutions prochaines (H1), et fournir une information pertinente pour une gestion anticipatrice et différenciée (H3).».

nécessite une méthode d'analyse adaptée ». En effet, la difficulté est de sélectionner et retranscrire les éléments constitutifs de la trajectoire territoriale. Les trajectoires sont retracées de manière rétrospective, à partir de variables définies a priori permettant de reconstituer les différentes phases d'évolution d'un espace pour une problématique donnée. Sont par exemple étudiées des trajectoires d'occupation du sol (Aguejda 2009), de formes de développement urbain (Bessy-Pietri 2000), de croissance démographique des villes (Swerts et Pumain 2013), de recomposition démographique des espaces ruraux (Hirczak *et al.* 2011), ou encore de développement économique des États de l'Union européenne (Bourdin 2013). L'analyse des trajectoires permet ainsi d'appréhender l'évolution spatio-temporelle de divers phénomènes géographiques (fragmentation des habitats écologiques, étalement urbain, convergence économique de régions européennes, etc.). La durée des périodes d'analyse et le nombre de phases sont définis en fonction des objets d'étude et peuvent être contraints par la disponibilité des données. Saisir une trajectoire consiste à donner du sens aux changements que l'on peut identifier dans un espace. L'enjeu est de mettre en évidence les éléments clés de la trajectoire. Le contenu des phases, leur cohérence, rythme, stabilité ou encore les éventuelles bifurcations renseignent sur les mécanismes d'évolution du système territorial. L'analyse des trajectoires territoriales permet ainsi d'aller plus loin dans la compréhension du fonctionnement du système territorial passé et présent que l'analyse d'une simple tendance ou d'une évolution. L'identification de trajectoires territoriales renseigne sur la manière dont les espaces sont affectés par le changement, en révélant par exemple un comportement stable ou une évolution instable.

L'analyse rétrospective des trajectoires permet d'identifier des structures spatio-temporelles qui peuvent se reproduire sur différents espaces. Ainsi, ce sont les trajectoires de plusieurs espaces qui sont généralement comparées afin de mettre en évidence des dénominateurs communs entre ces évolutions. Des typologies de trajectoires sont construites à partir d'une information mettant en évidence leur similarité (ou dissimilarité) : par exemple la qualification « nominale » des différents états et de leur succession (Hirczak *et al.* 2011), la représentation graphique des trajectoires sur un référentiel commun (Aguejda 2009, Bourdin 2013) ou encore une distance du Chi² (Swerts et Pumain 2013). La distance du Chi² est utilisée pour la réalisation d'une classification ascendante hiérarchique, dans les autres cas la méthode de classification n'est pas automatique. Une fois la classification des trajectoires territoriales réalisée, leurs facteurs de différenciation peuvent être recherchés dans les caractéristiques des espaces n'appartenant pas aux mêmes classes. C'est la correspondance entre une trajectoire et un type d'espace (Casanova 2010) qui permet d'apporter des éléments explicatifs ou structurants dans l'analyse des trajectoires. Ainsi, E. Swerts et D. Pumain (2013) mettent en évidence l'influence de la taille et de la localisation des villes indiennes dans leurs trajectoires démographiques. S. Bourdin (2013) montre une convergence des trajectoires du PIB/habitant des pays européens, avec toutefois une augmentation des

inégalités intra-étatiques pour les pays de l'Europe centrale et orientale et une diminution de ces inégalités pour la majorité des pays de l'Europe des Quinze. M. Hirczak *et al.* (2011) montrent le rôle, dans les trajectoires démographiques des espaces ruraux, des villes et de l'existence de maillages urbains denses dynamisant leur environnement.

La comparaison des trajectoires territoriales permet de révéler des structures spatio-temporelles récurrentes qui peuvent en outre être mises en relation avec un modèle d'évolution territoriale préétabli. C'est la démarche suivie par M. Hirczak *et al.* (2011) qui positionnent les provinces et départements ruraux espagnols, français et italiens au sein du modèle de recomposition démographique des espaces ruraux. Ce modèle compte quatre phases – exode rural, période transitoire, repeuplement, revitalisation – identifiables par les évolutions relatives du solde migratoire et du solde naturel. À partir de l'examen des trajectoires pour les périodes 1991-1999 et 1999-2006, les auteurs montrent les variations de leurs espaces d'étude au sein de ce modèle en termes de point de départ et de rapidité d'évolution. Ils montrent également les écarts au modèle, c'est-à-dire les espaces allant à contre-courant du modèle d'évolution des espaces ruraux. Ils soulignent le rôle de la crise industrielle pour expliquer ces évolutions particulières. **Cette démarche consistant à positionner les trajectoires des espaces au sein d'un modèle d'évolution territoriale nous paraît adaptée à l'analyse des variations des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin, ce processus correspondant à un modèle spatio-temporel bien structuré** (cf. Chapitre I.1.3.1).

2.1.2. Analyser les trajectoires territoriales dans une optique prospective

La notion de trajectoire revêt l'idée d'une continuité entre passé, présent et futur. En effet, la trajectoire territoriale est le produit du jeu de temporalités multiples et emboîtées (Maurel 2009). À la base de l'analyse des trajectoires territoriales à des fins prospectives, se trouve « l'hypothèse selon laquelle l'espace évolue en projetant certains traits de son état passé dans le futur » (Casanova 2010). Cette hypothèse renvoie au paradigme de la dépendance du chemin (*path dependence*). Les sciences sociales font appel à ce paradigme pour explorer les transformations de systèmes, au risque, souligné par M. Dobry (2000), d'un déterminisme historique élémentaire. Il paraît ainsi particulièrement important de s'interroger sur les conditions de projections du passé dans le futur : « Quelle leçon est-on en droit de tirer du passé pour appréhender l'avenir ? », « Au regard de quoi un changement spatial est-il signifiant pour le futur ? » (Voiron-Canicio 2012), et « Comment apprécier les héritages qui comptent et jusqu'à quel moment remonter dans le passé ? » (Maurel 2009). L'analyse des trajectoires territoriales soulève la question des héritages spatiaux et de la réactivité différenciée des espaces face au changement. Selon M.-C. Maurel (2009), la transmission d'un héritage spatial n'est jamais une reproduction à l'identique, mais une recomposition de la morphologie des territoires : ainsi « la permanence de la forme repose sur sa capacité à se

transformer dans le temps, à se reproduire, malgré et grâce à son environnement et aux événements qui l'affectent et qu'elle affecte ». Pour l'auteur, l'approche en termes de dépendance du chemin « convient a priori à l'analyse du changement spatial en ce qu'il remodèle des formes héritées » mais elle « laisse cependant entière la question de son articulation avec le changement social » (*ibid.*). Ces reconfigurations de l'organisation de l'espace progressent selon des temporalités décalées, asynchrones des changements qui affectent les systèmes socioéconomiques et qui sont à l'origine des changements spatiaux. En effet, le rôle des héritages spatiaux est dépendant de la manière dont ceux-ci sont reçus par les acteurs, qui peuvent les accepter ou les récuser, et ainsi vouloir les conserver, les adapter ou encore les détruire (*ibid.*). Des résistances et des décalages peuvent affecter le temps de recomposition des structures spatiales, qui empruntent des trajectoires différentes selon les lieux. Le paradigme de la dépendance du chemin présente ainsi l'intérêt de réintégrer le passé pour penser le présent mais la difficulté provient du fait que plusieurs types de temps coexistent dans le présent des territoires (*ibid.*).

D'après D. Pumain (2003), les spécificités des entités géographiques peuvent être expliquées « par une succession originale de trajectoires stables et de bifurcations, selon une évolution qui procède par sauts, et qui entraîne le système vers des attracteurs distincts ». Les structures observées à un moment donné « intègrent cette « histoire » particulière produite par une dynamique générique, et donc toutes les associations qualitatives de propriétés ne sont pas également probables » (Pumain 2003). L'évolution du territoire correspond à la réalisation d'une trajectoire parmi un ensemble de trajectoires possibles. Ainsi, « le futur n'est jamais une entière création et spécialement lorsqu'il s'agit de l'avenir des territoires » (Casanova 2010) : des contraintes jouent un rôle suffisamment fort sur certaines évolutions spatiales pour pouvoir être anticipées (Dumolard 1998). Selon C. Voiron-Canicio (2012), « examiner les événements et les trajectoires passés, et en retirer des enseignements pour le futur constitue la finalité de la démarche rétrospective qui est associée à la prospective ». L'étude des trajectoires constitue un préalable aux modélisations prospectives spatialisées (Houet *et al.* 2008a, Aguejda 2009). L'analyse rétrospective des trajectoires territoriales tient une place centrale en prospective spatiale qui vise à la découverte de règles et de marqueurs d'évolution des territoires (Casanova 2010). F. Durand-Dastès (2001) évoque, à travers la notion d'« espace-mémoire », l'idée que « l'espace différencié, qui fait qu'aucune société n'écrit sur une page vierge, est une résultante du passé, mais pas du passé tout entier, car seules sont impliquées celles de ses parties qui sont actives dans le présent ». Selon L. Casanova (2010), l'idée des marqueurs consiste à se focaliser sur certains aspects de la trajectoire d'un système territorial pour chercher leur « rôle dans son évolution passée ou présente, ou qui sont susceptibles d'avoir une influence sur celles à venir ». **L'objectif de notre prospective spatiale de trajectoires de littoralisation est de déceler les éléments structurants qui permettront de réduire l'incertitude quant aux modalités d'évolution des territoires.**

L'analyse des trajectoires à des fins prospectives ne correspond pas au simple prolongement du passé et ne peut d'ailleurs pas en être totalement déduit (Casanova 2010) : seules certaines indications sur le devenir d'un territoire peuvent être identifiées, à partir de l'identification des logiques d'évolution en cours et des signaux faibles, qui peuvent correspondre à des « germes de changement » (Voiron-Canicio 2012). **La part d'incertitude et d'information sur les évolutions possibles varient selon les trajectoires et leurs caractéristiques, et devront ainsi faire l'objet d'une attention particulière dans notre analyse.**

2.2. Démarche de prospective spatiale à partir des trajectoires de peuplement

2.2.1. Préalable à l'analyse comparative des trajectoires de peuplement de l'Arc Latin, la question de l'harmonisation des données et de la partition de l'espace

L'analyse porte sur les littoraux de trois pays d'Europe méditerranéenne : l'Espagne, la France et l'Italie. **L'Arc Latin, qui s'étend du détroit de Gibraltar au détroit de Messine, présente à la fois une diversité dans la mise en place des processus de littoralisation et une cohérence géographique (Voiron-Canicio 1993), toutes deux indispensables pour un travail comparatif. L'approche comparative doit permettre d'améliorer la connaissance du processus de littoralisation et de mieux comprendre les différentes modalités d'évolution.** En effet, la question des évolutions à venir de ce processus pose la question de ses modalités de différenciation dans les régions côtières de l'Arc Latin : derrière la tendance lourde qu'est la littoralisation, comment se déroule cette densification des côtes, à l'échelle infrarégionale ? Le phénomène est-il partout le même dans sa nature, ses formes, évolutions, rythmes ? Existe-t-il un seul modèle de littoralisation - avec des décalages temporels selon les régions - ou bien plusieurs « sous-modèles » distincts ? L'existence d'un ou plusieurs modèles de littoralisation pourrait avoir des implications au niveau des évolutions futures des régions côtières. S'il n'existe qu'un modèle de la littoralisation, quelles sont ses évolutions possibles ? Et surtout, s'il existe plusieurs modèles de littoralisation, comment se caractérisent leurs trajectoires respectives ? Sont-elles divergentes ou convergentes ? En effet, on peut se demander si les processus de littoralisation aboutissent nécessairement à une densification massive et uniforme des côtes et à la saturation, et, comme A. Dagherne (1995), si le béton va recouvrir uniformément tout le système littoral.

L'état des connaissances sur les processus de littoralisation (cf. Chapitre I.1.3.3) a montré la nécessité, pour la compréhension des trajectoires de littoralisation, d'une rétrospective des dynamiques spatiales à une échelle spatiale fine et sur un temps long. L'analyse diachronique et comparative des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin nécessite des données harmonisées et une partition de l'espace en différentes aires d'étude.

Les aires d'étude ne doivent pas se limiter au littoral mais intégrer l'arrière-pays. **La littoralisation se caractérisant par la concentration des hommes sur les littoraux, la population constitue un élément majeur pour appréhender ce processus.** Si la littoralisation peut être appréhendée à travers de multiples variables tant elle imprime sa marque sur les régions côtières (urbanisation, activités, artificialisation des milieux), elle correspond avant tout à un mode de peuplement. Si les données sur la population présente permettraient d'intégrer la fréquentation touristique, les données de population résidente ont l'avantage de leur disponibilité pour des dates éloignées, permettant de réaliser une rétrospective sur l'ensemble des littoraux étudiés. La disponibilité des données à cet échelon en format numérique nous a permis de remonter jusqu'aux années soixante. Les dynamiques de littoralisation des provinces et départements de l'Arc Latin sont ainsi analysées à partir des données issues des recensements de population de l'INE, l'INSEE et l'ISTAT¹⁷ pour les cinq dernières décennies. Bien que le processus de littoralisation ait pu commencer avant cette date dans certaines régions de l'Arc Latin à l'urbanisation ancienne, ces cinq périodes d'analyse nous paraissent suffisamment consistantes pour pouvoir mettre à jour et comparer les trajectoires de littoralisation. Les dates des recensements n'étant pas forcément les mêmes, nous avons sélectionné les recensements de chaque pays qui correspondent aux années les plus proches de chaque début de décennie (1960, 1970, 1980, 1990, 2000, 2010). L'objectif est d'obtenir des périodes d'analyse homogènes (Tableau 1) qui permettent de caractériser les dynamiques de littoralisation pour chaque décennie et pays. La durée décennale de ces périodes nous paraît adaptée pour l'étude des dynamiques de peuplement, dont les temps de reconfigurations se déploient sur le temps long. **Afin d'analyser les dynamiques spatiales à une échelle fine, les données de population sont analysées au niveau communal.**

	Période 1 (1960-1970)	Période 2 (1970-1980)	Période 3 (1980-1990)	Période 4 (1990-2000)	Période 5 (2000-2010)
Espagne	1960-1970	1970-1981	1981-1991	1991-2001	2001-2008
France	1962-1968	1968-1982	1982-1990	1990-1999	1999-2009
Italie	1961-1971	1971-1981	1981-1991	1991-1999	1999-2008

Tableau 1. Composition des périodes d'analyse selon les recensements de la population existants

La partition de l'Arc Latin en différentes aires d'étude est effectuée à partir du niveau 3 de la nomenclature des unités territoriales statistiques (NUTS). Ce découpage mis en place par l'Union Européenne est destiné à faciliter les comparaisons entre les pays et leurs différents échelons administratifs. Les NUTS 3 correspondent à des unités statistiques de 150 000 à 800 000 habitants : il s'agit des *provincias* espagnoles, des *provincia* italiennes et des

¹⁷ Instituts nationaux de statistique espagnol (Instituto Nacional de Estadística), français (Institut national de la statistique et des études économiques) et italien (Istituto nazionale di statistica)

départements français. Les évolutions récentes des processus de littoralisation ont en effet montré que le phénomène ne se limite pas au rivage mais concerne des espaces côtiers pouvant aller jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres à l'intérieur des terres. **Nous avons modifié les limites des provinces et départements dans leur profondeur vis-à-vis du trait de côte, en prenant en compte toutes les communes situées – au moins en partie – à moins de 40 km du rivage** (Figure II-3). Certaines communes n'appartenant pas aux provinces et départements littoraux mais situées à moins de 40 km de la côte ont ainsi été ajoutées (376 communes pour l'Italie, 21 pour l'Espagne et 10 pour la France). Les communes au-delà de 40 km de la côte ont été retirées. Cela nous permet d'étudier la dualité littoral/intérieur sur une bande d'une largeur homogène sur le pourtour méditerranéen. Certaines communes ne sont pas constituées d'un seul tenant, ce qui explique l'existence d'enclaves ponctuelles lorsqu'une seule partie de la commune est située dans la zone des 40 km. Au total, 2048 communes s'étendent sur près de 215 000 km².



Figure II-3. Ensemble des communes de l'Arc Latin situées à moins de 40 km du littoral

D'autre part, la partition de l'Arc Latin en différentes aires d'étude a nécessité le regroupement de certains départements ou provinces lorsque leur débouché littoral est limité (Gard, Potenza), et plus fréquemment lorsqu'un littoral et son arrière-pays n'appartiennent pas à la même division administrative (Figure II-4). C'est notamment le cas dans les grandes îles (Corse, Sardaigne, Sicile) et de certaines provinces italiennes dont les superficies sont

généralement plus restreintes que celles des provinces espagnoles et des départements français¹⁸.

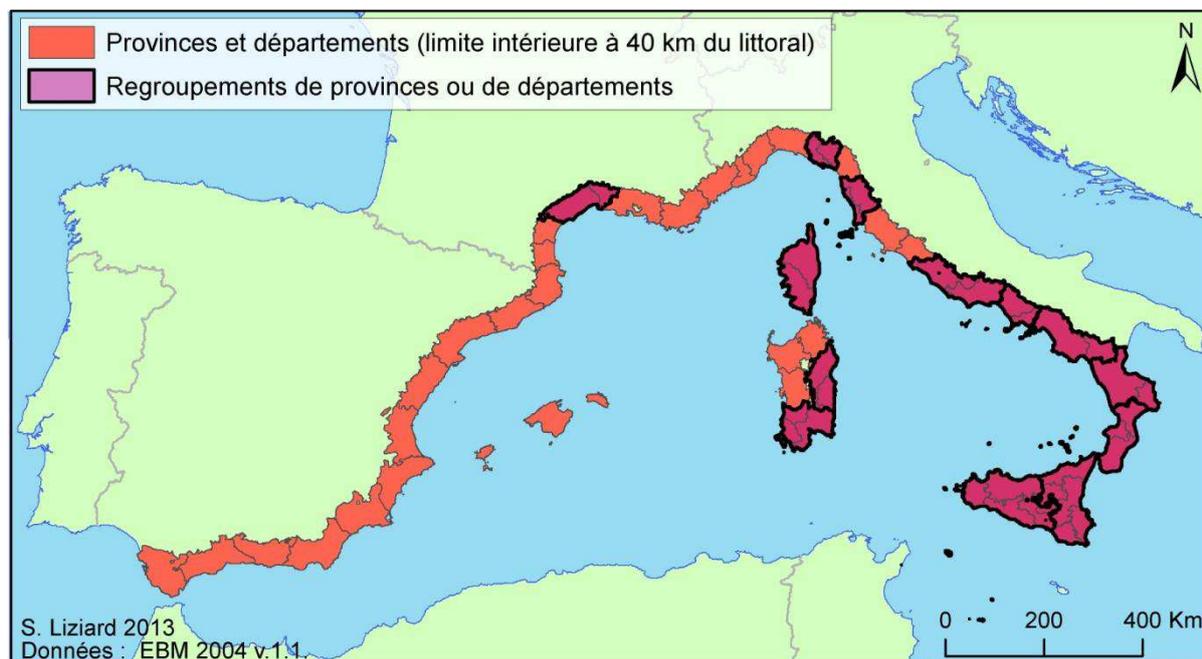


Figure II-4. Les regroupements de provinces et de départements

Trente-neuf zones d'étude sont ainsi mises en place à partir des 56 provinces et départements côtiers de l'Arc Latin (Figure II-5)¹⁹. Ce redécoupage de l'espace tend à homogénéiser les tailles des unités spatiales, même si des différences importantes demeurent. Le but n'est cependant pas d'harmoniser les surfaces, mais d'analyser les trajectoires de peuplement dans une pluralité d'aires géographiquement cohérentes pour observer les processus de littoralisation.

¹⁸ Ont ainsi été regroupés : Gard et Hérault / Haute-Corse et Corse du Sud / Ogliastra et Nuoro / Cagliari, Carbonia-Iglesias et Medio-Campidano / Messine, Catane, Syracuse et Raguse / Caltanissetta, Agrigente, Trapani et Palerme / La Spezia et Massa-Carrara / Livourne et Pise / Latina et Rome / Caserte et Naples / Potenza et Salerne/ Cosenza et Crotonne / Catanzaro, Vibo Valentia et Reggio de Calabre.

¹⁹ La principauté de Monaco n'est pas intégrée à l'analyse.



Figure II-5. Les 39 zones d'étude créées pour l'analyse des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin

Les données sont rassemblées dans un Système d'Information Géographique (S.I.G.) mis en place sous le logiciel ArcGIS 10 (ESRI). L'utilisation du maillage communal actuel²⁰ dans une analyse rétrospective est confrontée au problème – peu fréquent néanmoins – de modification des limites communales par regroupement ou division de communes. Nous avons choisi de ne pas modifier les limites géographiques des communes et d'agréger ou de diviser les valeurs de population lorsque le cas se présentait. Ainsi, pour une commune qui résulte de la fusion de plusieurs communes, les dates antérieures à son existence sont caractérisées par la somme des populations des différentes communes. Pour des communes qui se sont à l'inverse individualisées, les populations ont été affectées pour les périodes antérieures au prorata de la distribution de la population à la période d'apparition de la nouvelle commune.

2.2.2. Retracer les trajectoires : une recherche exploratoire combinant les outils de l'analyse spatiale et de l'analyse de séquences

Les dimensions spatiale et temporelle sont fondamentales pour analyser les différentes phases du déploiement de la population. L'objectif est d'élaborer, à partir de données de population au niveau communal, un protocole d'analyse des trajectoires de peuplement des provinces et départements de l'Arc Latin pour les cinq dernières décennies, qui intègre

²⁰ Les fonds administratifs utilisés proviennent du programme *EuroPamel@ : Portail de l'Arc Méditerranéen Latin* (Programme INTERREG MEDOC 2005-2008), destiné à développer un système d'information économique des territoires de l'Arc Méditerranéen. La source originelle de ces données administratives est l'association internationale de cartographie *Eurogeographics* (EBM 2004, v.1.1).

conjointement l'espace et le temps et permette de comparer leurs évolutions. Les indicateurs mis en place doivent permettre d'identifier au sein des trajectoires de peuplement celles qui relèvent du processus de littoralisation et celles qui n'en sont pas. Ils doivent permettre de mettre en lumière les récurrences (les modèles d'évolution) et les spécificités (les particularités locales) en termes de temporalités et de dynamiques spatiales de peuplement, toutes deux étant constitutives de la trajectoire du territoire. Retracer les trajectoires nécessite d'étudier les configurations spatiales successives du peuplement et de ses dynamiques. **Nous distinguons ici les structures spatiales liées à la distribution de la population (répartition de la population) et les structures spatiales liées à leurs dynamiques (répartition des taux de croissance).** Analyser l'évolution dans le temps de ces deux types de structures spatiales est fondamental pour retracer les trajectoires et mettre en évidence les logiques d'évolution du peuplement. Alors que la distribution spatiale du peuplement se caractérise par une certaine inertie, analyser les structures spatiales des dynamiques de la population favorise l'identification d'évolutions peu perceptibles et nouvelles. En effet, analyser les variations de la population permet de se soustraire de l'inertie liée au poids du peuplement des périodes antérieures. **En conséquence, les structures spatiales liées aux dynamiques de la population nécessitent une analyse plus fine que les structures spatiales liées à la distribution du peuplement, car elles sont susceptibles de présenter une plus grande variabilité spatiale et temporelle.**

La dimension spatiale est étudiée grâce aux outils et méthodes de l'analyse spatiale. Elle est souvent modélisée à travers une distance (au centre ville, au plus proche voisin, etc.) pour laquelle on étudie la variation d'une variable. Ainsi, la littoralisation a été analysée avec succès en fonction à la distance à la mer, par la variation de la population (Voiron-Canicio 1999), des surfaces urbanisées (Plan Bleu 2000) ou encore des surfaces construites (IFEN 2007). **Ce type d'analyse, conditionnel au trait de côte, nous paraît approprié pour étudier la distribution spatiale du peuplement.** Cependant, en réduisant la dimension spatiale à une seule distance, cette approche ne permet pas l'émergence de nouvelles structures spatiales. Elle ne convient pas pour mener l'analyse exploratoire telle que nous l'envisageons pour les structures spatiales des dynamiques de population. En effet, afin de mieux prendre en compte la variété des processus de peuplement, il est nécessaire que l'analyse ne soit plus conditionnée à certains seuils de distance prédéfinis et puisse aussi faire apparaître des évolutions latérales. Une analyse exploratoire des structures spatiales des dynamiques de population est toutefois confrontée à la quantité d'information, considérable du fait de l'échelon communal des données et des cinq périodes étudiées. Une analyse cartographique classique des taux de variation de population entre deux dates serait délicate, d'autant plus dans une visée comparative. Outre les difficultés liées à l'interprétation visuelle d'une grande masse d'information cartographique, se pose la question de la définition d'une méthode de discrétisation qui soit cohérente avec l'ensemble de jeux de données, afin de

permettre la comparaison entre les différentes dates et zones d'étude, tout en appréhendant avec finesse les différenciations locales. Des traitements statistiques permettant de découper l'espace de manière automatique en fonction des taux de croissance de la population sont recherchés, dans le but de faire émerger des structures spatiales comparables, de manière rigoureuse et reproductible. La méthode appropriée a été recherchée du côté de l'analyse exploratoire de données spatiales (ESDA²¹), qui regroupe un ensemble de méthodes permettant d'explorer les propriétés de données spatiales (Haining 2003). Elle regroupe les méthodes de la géostatistique, de *clustering*, de lissage spatial et confère une large place à la géovisualisation, notamment interactive. Elle est exploratoire dans le sens où elle détecte des structures spatiales potentiellement porteuses de sens mais ne permet pas les expliquer. Les « fluctuations locales » dans les relations entre les lieux sont au centre de son approche (Banos 2001). Celle-ci enrichit en effet la recherche des régularités propre à l'analyse spatiale d'un « regain d'intérêt pour les exceptions à ces règles, porteuses d'inattendu et d'étonnement » (*ibid.*). Les structures spatiales détectées permettent de faire émerger des hypothèses quant au mode d'organisation de l'espace.

Les méthodes de l'ESDA fournissent des mesures de l'autocorrélation spatiale locale. Les Indicateurs Locaux d'Association Spatiale (LISA²²), développés par L. Anselin (1995), mesurent la ressemblance des unités spatiales avec leur voisinage²³. **La méthode des LISA est choisie pour étudier les structures spatiales des dynamiques de population, car elle permet de révéler des zones homogènes à l'échelle locale.** Il s'agit de *clusters* : des ensembles de communes ayant des valeurs supérieures ou inférieures au reste de l'aire d'étude. Cette méthode permet de garder le niveau de détail de l'échelle communale et d'en faire émerger des structures spatiales homogènes. La détection des structures spatiales par les LISA n'a pas de « direction » imposée, excepté celle de l'autocorrélation spatiale. Notre objectif n'est pas de tester l'intensité de la dépendance spatiale mais de repérer les structures locales qui y sont associées. Cette posture se rapproche du travail de S. Oliveau (2006) utilisant les LISA comme méthode de régionalisation permettant d'analyser des tendances régionales en conservant le détail de données communales. **Nous faisons l'hypothèse que les groupes continus (*clusters*) de communes caractérisées par des fortes dynamiques de population constituent un marqueur significatif des processus de peuplement et de littoralisation.**

L'intégration de la dimension temporelle demande un effort particulier pour l'analyse des trajectoires. Dans les approches diachroniques classiques, la dimension temporelle est généralement très simple : l'évolution est caractérisée par une variation entre une ou plusieurs paires de dates successives. S'il y a plusieurs espaces, leurs valeurs sont comparées au sein de

²¹ *Exploratory Spatial Data Analysis*

²² *Local Indicator of Spatial Association*

²³ Nous reviendrons plus en détail sur la méthode au **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**

chaque date, indépendamment des autres dates et valeurs. Il est plus difficile d'analyser ces évolutions d'un point de vue global, c'est-à-dire d'identifier une trajectoire. D'après F. C. Billari (2001) « *a holistic perspective calls for efforts to analyse evolutions in their wholeness, instead of specific events or combinations of events, as dependent variables*²⁴ ». **Pour l'analyse des structures spatiales de la distribution du peuplement conditionnellement au trait de côte, l'évolution temporelle sera observée dans sa globalité et ses articulations, sous forme d'un profil spatio-temporel global.** Cette approche, permettant de dépasser la simple comparaison entre différentes paires de dates et de repérer des profils similaires, est rendue possible par la nature quantitative de l'indicateur mesuré (quantité de population en fonction de la distance au rivage). Les trajectoires peuvent se matérialiser sous forme de graphiques. En ce qui concerne l'analyse par les LISA des structures spatiales des dynamiques de population, l'intégration de la perspective temporelle est plus difficile car le résultat n'est pas un indicateur quantitatif mais une cartographie des *clusters*. En effet, comment intégrer ces configurations spatiales successives en tant que trajectoire ? Comment formaliser et analyser l'ensemble des structures spatiales successives des dynamiques de population ? Cette question n'est pas propre à l'analyse géographique, mais concerne toutes les disciplines cherchant à analyser une succession d'états de manière holistique.

Les méthodes de l'analyse de séquences ont été créées dans cette optique. D'abord développée dans le domaine de la bioinformatique pour l'étude de séquences d'ADN et de protéines, l'analyse séquentielle a été transposée en sciences sociales afin de décrire des séquences chronologiques d'états caractérisant des individus (Abbott et Tsay 2000). Depuis les années 1980, l'étude quantitative des trajectoires biographiques (*life course analysis*) a pris une ampleur considérable dans le champ des sciences sociales pour analyser les carrières professionnelles, la mobilité résidentielle ou encore les structures familiales (Robette 2011). L'analyse de séquences permet d'analyser les trajectoires « *as a meaningful conceptual unit, in a holistic perspective of evolutions*²⁵ » (Billari 2001). **Les configurations spatiales révélées par les LISA pouvant être définies comme des états, qu'il faudra préciser, nous proposons d'employer le formalisme et les méthodes de l'analyse séquentielle pour y intégrer la dimension temporelle.** Les méthodes d'analyse de séquences sont elles aussi exploratoires, tournées vers la description et la détection de structures temporelles. À l'aide de différents indicateurs, elles permettent d'analyser et comparer l'ordre dans lequel les différents états apparaissent, le moment de leur apparition et leur durée. Les méthodes de comparaison et de classification y tiennent une place centrale puisque l'une des grandes finalités est l'alignement de différentes séquences et la création de modèles structuraux. En

²⁴ Une perspective holistique requiert des efforts pour analyser les évolutions dans leur intégralité, au lieu d'événements ou de combinaisons d'événements distincts, en tant que variables dépendantes.

²⁵ En tant qu'unité conceptuelle significative, dans une perspective holistique des évolutions.

utilisant l'analyse de séquences, notre but est d'élaborer une classification des trajectoires d'évolution des dynamiques de peuplement des 39 aires d'étude. Le principe est de regrouper les séquences qui se ressemblent, en sous-groupes homogènes et disjoints. Cette démarche est employée afin de découvrir des structures cachées dans l'ensemble des séquences (Roux 1993), d'améliorer la compréhension des parcours et de leur variété, d'en réduire la complexité en proposant un résumé synthétique des différentes séquences (Grelet 2002). Trois étapes seront nécessaires : un premier travail d'identification des états et de formalisation en séquences, un deuxième travail de mesure de la dissemblance entre individus à partir de l'indicateur d'analyse de séquences le plus adapté à notre problématique et enfin un travail de classification.

2.2.3. Analyser les propriétés des trajectoires de peuplement pour une prospective de la littoralisation de l'Arc Latin et la localisation des espaces à enjeux

Dans la prospective spatiale des dynamiques du foncier à bâtir en Provence, L. Casanova (2010) met en évidence les principes de différenciation de l'espace à travers l'analyse de la potentialité des territoires, de leur sensibilité au changement et du degré de liberté de leur évolution. L'analyse vise ainsi à identifier au sein de l'espace d'étude des modalités d'évolution différenciées. Des types d'action d'aménagement adaptés aux différents sous-espaces sont ensuite proposés (échelle d'intervention, temporalité de l'action, sa finalité, etc.). Notre approche est différente puisque les propriétés de l'évolution de l'espace sont analysées dans une perspective de comparaison de différentes aires d'étude, et non pas de différenciation interne. C'est ce que nous mettons en œuvre à travers l'analyse des trajectoires des territoires, justifiée par la structuration des dynamiques de littoralisation et l'inertie des processus de peuplement. En effet, une prospective basée sur l'analyse des trajectoires induit qu'une part non négligeable du devenir des territoires est liée aux structures et dynamiques spatiales et à leurs évolutions. L'analyse des trajectoires consiste à étudier en quoi celles-ci peuvent informer sur le devenir des territoires. **L'analyse des trajectoires est à la base de notre démarche de prospective spatiale, où leurs propriétés sont analysées en tant que marqueurs de leur évolution. Nous identifions quatre propriétés des trajectoires apportant des informations prospectives complémentaires :**

- La **direction des trajectoires**, à partir de l'identification des structures spatiales et des dynamiques qui les animent, permet de renseigner sur leurs devenir, en tant que logique spatiale d'évolution.
- La **stabilité de la trajectoire**, en caractérisant les écarts existant dans la trajectoire par rapport à la direction suivie, vient conforter les hypothèses d'évolution précédemment émises ou au contraire faire apparaître de l'incertitude dans les évolutions à venir.
- La **vitesse de la trajectoire** témoigne de l'intensité des processus à l'œuvre et renseigne sur la rapidité des évolutions à venir.

- Le **stade de la trajectoire** correspond quant à lui à l'avancée du processus et caractérise le potentiel du territoire pour une poursuite de la même logique d'évolution. Un territoire atteignant un stade avancé dans son évolution est susceptible de connaître un ralentissement ou une nouvelle évolution dans sa trajectoire.

À partir des analyses décrites dans la section précédente (analyse temporelle des structures spatiales de la distribution de la population et des dynamiques de peuplement), des indicateurs seront élaborés pour renseigner les différentes propriétés des trajectoires. **L'objectif est de réaliser un diagnostic prospectif des territoires de l'Arc Latin en termes de dynamique spatiale de peuplement et ainsi de littoralisation. Ce diagnostic se base sur l'analyse des trajectoires et de l'information – plus ou moins empreinte d'incertitude – qu'elles comprennent sur les possibles évolutions à venir.** Il s'agit de mettre en évidence les trajectoires de peuplement et d'analyser si elles sont susceptibles de se poursuivre telles qu'elles sont actuellement ou si elles vont évoluer : Quelles sont les trajectoires caractérisées par une densification de la population le long du rivage et quelles sont celles marquées par une progression vers l'intérieur des terres ? Quelles sont celles qui sont susceptibles de connaître une évolution dans leur orientation ?

En outre, en vue d'une gestion anticipative des territoires littoraux, on cherchera à identifier les espaces à enjeux correspondant aux évolutions possibles des trajectoires de littoralisation. L'analyse des espaces à enjeux, initialement appréhendée sous l'angle du risque, fait l'objet de développements actuels au sein de l'UMR 7300 ESPACE. Elle repose sur l'hypothèse de l'existence de configurations spatiales dans lesquelles les lieux sont porteurs d'enjeux. D'après C. Voiron (2013), l'expression « espace à enjeux » caractérise trois situations précises : « un espace – aire ou lieu – où se cristallisent des tensions, qu'elles soient latentes ou qu'elles se manifestent par des conflits permanents ou épisodiques ; un espace ayant un intérêt vital par les éléments remarquables qu'il possède : populations ou ressources, cette évaluation étant estimée au regard du préjudice qu'entraînerait leur disparition [...] ; enfin, un espace ayant un intérêt stratégique [...] pour le fonctionnement territorial du système considéré, par la forte probabilité d'impact sur le reste du système territorial qu'aurait sa transformation ». **Dans la problématique de la littoralisation de l'Arc Latin, les espaces à enjeux sont les espaces qui devraient faire l'objet d'une attention particulière compte tenu des pressions, de leurs évolutions potentielles et des répercussions de celles-ci sur le reste du système territorial. Ainsi, les espaces à enjeux recherchés seront les espaces saturés, les espaces proches de la saturation et les espaces qui sont susceptibles d'être un lieu de densification alors qu'ils sont encore en marge du processus.**

Conclusion

Notre protocole de prospective spatiale des processus de littoralisation repose sur l'analyse et la comparaison des trajectoires de peuplement au sein de l'Arc Latin. **Alors que la trajectoire d'un point est, dans un référentiel, l'ensemble des positions successives occupées au cours du temps, nous proposons d'étudier les trajectoires territoriales en tant que succession des configurations spatio-temporelles de l'évolution d'un territoire.** L'appréhension de trajectoires se caractérise par une perspective holistique de l'évolution, qui est ainsi considérée dans son ensemble. L'analyse rétrospective des trajectoires permet d'identifier des structures spatio-temporelles. Elle renseigne sur les logiques d'évolution des territoires. En effet, l'approche comparative doit permettre de faire émerger des trajectoires récurrentes et d'identifier les spécificités locales. Pour permettre la comparaison, l'Arc Latin est découpé en 39 zones d'étude où les données de population à l'échelle communale sont organisées de manière à caractériser les cinq dernières décennies. L'objectif de l'analyse des trajectoires territoriales est de déceler les éléments structurants qui permettront de réduire l'incertitude quant aux modalités d'évolution des territoires. Les propriétés des trajectoires (direction, stabilité, vitesse, stade) constituent les marqueurs de notre prospective spatiale.

Afin de retracer les trajectoires et de renseigner leurs propriétés, deux aspects de l'évolution des territoires doivent être analysés de façon complémentaire :

- d'une part, l'évolution des structures spatiales de la distribution de la population,
- d'autre part, l'évolution des structures spatiales propres aux dynamiques de la population.

Il paraît en effet nécessaire d'étudier à la fois les configurations liées à la répartition de la population et celles liées à l'organisation spatiale des dynamiques démographiques. Des démarches d'analyse adaptées à chacun de ces deux aspects ont été présentées : les structures spatiales liées aux dynamiques de la population nécessitent en effet une analyse plus fine que les structures spatiales liées à la distribution du peuplement, car elles sont susceptibles de présenter une plus grande variabilité spatiale et temporelle. Les outils S.I.G., les méthodes d'analyse exploratoire de données spatiales (ESDA) et d'analyse de séquences (issues de la bioinformatique) seront mobilisés afin d'identifier les structures spatiales et temporelles et ainsi de modéliser les trajectoires. **Cette démarche de diagnostic prospectif a pour but d'éclairer les évolutions possibles des dynamiques spatiales de littoralisation à partir de l'analyse des trajectoires de peuplement. On recherche dans leurs structures spatio-temporelles les éléments porteurs de sens pour leur devenir mais aussi les éléments porteurs d'incertitude. Dans le contexte d'aide à la gestion anticipative des territoires littoraux, l'objectif final consiste à identifier les espaces à enjeux relatifs aux évolutions possibles des trajectoires de littoralisation.**

3. Axe 2 : Evaluer l'adaptabilité des territoires aux changements climatiques par une analyse systémique et spatiale

L'évolution des recherches sur le changement climatique a montré l'émergence de nouvelles approches scientifiques caractérisant la vulnérabilité sociale des territoires et des populations (cf. Chapitre I.2.2). Ces approches « *bottom-up* » visent à contribuer à la définition de politiques d'adaptation au changement climatique. Elles intègrent des indicateurs socio-économiques et territoriaux pour définir la capacité d'adaptation de régions ou de communautés. L'identification et l'évaluation des capacités d'adaptation, au niveau générique comme au niveau de territoires spécifiques, demeurent néanmoins problématiques (cf. Chapitre I.2.3.2). Nous pensons qu'une approche géographique, basée sur une analyse systémique et spatiale du fonctionnement des territoires, est susceptible d'améliorer la connaissance sur l'adaptabilité des territoires (H4). Elle permettrait de mettre en évidence des leviers et des freins pour renforcer l'adaptabilité des territoires et aiderait ainsi au choix de mesures d'adaptation en adéquation avec les contextes territoriaux (H5). Après une présentation de la nature pluridisciplinaire et complexe de l'adaptation, nous montrons que la capacité d'adaptation constitue une approche « pragmatique » de l'adaptation, dans les limites inhérentes à l'exercice. À partir de ce constat, nous proposons deux démarches d'analyse des capacités d'adaptation des territoires au changement climatique : la première application a une dimension heuristique tandis que la seconde est tournée vers l'opérationnel.

3.1. L'adaptation, un enjeu de recherche réaffirmé mais un concept polysémique

3.1.1. Appréhender les interactions homme-environnement

Le concept d'adaptation, central en biologie depuis la théorie de l'évolution et le principe de sélection naturelle, est employé dans différentes sciences de l'Homme et de l'environnement. Permettant l'étude des relations entre êtres vivants et environnement, il fut au cœur des débats sur la place de l'Homme dans la nature, remontant au XIX^e siècle. Selon M. Reghezza (2007), l'analyse du concept d'adaptation montre à ce sujet une opposition épistémologique entre géographie et biologie. En biologie, l'adaptation est envisagée sous un angle déterministe, les conditions du milieu déterminant les caractéristiques des êtres vivants. L'adaptation est le résultat de la sélection naturelle : les traits favorisant la survie et la reproduction voient leur fréquence s'accroître de génération en génération. L'adaptation définie ici n'est donc pas consciente et relève de mutations produites au niveau des gènes. En géographie, « l'adaptation est au contraire le résultat de choix délibérés pour échapper aux contraintes du milieu » (Reghezza 2007). Les conditions naturelles laissent place à la liberté

des hommes et à leur capacité d'adaptation. Ainsi, pour la géographie vidalienne, « tout ce qui touche à l'homme est frappé de contingence » (Vidal de la Blache 1922). Cette conception de l'adaptation implique apprentissage et libre-arbitre.

Néanmoins, ce débat épistémologique ne s'est pas uniquement développé entre disciplines mais il a aussi été interne à la géographie. G. Simonet rappelle que l'adaptation s'y est « d'abord développée en un sens déterministe dans sa relation avec les êtres vivants, avant d'intégrer une vision complexe, interdisciplinaire et systémique » (Simonet 2009). En effet, pour C. Ritter, naturaliste et fondateur de la géographie moderne avec A. von Humboldt, l'objet de la géographie était d'étudier « l'influence fatale de la nature » sur les sociétés humaines. P. Vidal de la Blache, avec l'analyse des « genres de vie », s'est détaché de ce déterminisme par la nature au profit d'une approche qui sera qualifiée de « possibilisme » par l'historien L. Febvre en 1922. Les sociétés ne sont plus considérées comme étant déterminées par leur milieu physique, mais un même milieu correspond à des mises en œuvres diverses selon les techniques de production et les modes de consommation, concrétisées par les genres de vie. L'essor de la géographie humaine et de la sociologie urbaine, centrée sur les rapports entre les hommes et leur environnement urbain, a contribué à ce mouvement de requalification de la place de l'homme dans la nature. Les scientifiques de l'École de Chicago ont utilisé le concept d'adaptation en le définissant « comme le fruit de choix délibérés afin d'échapper aux contraintes du milieu » (Simonet 2009). Dans un discours de 1923 tenu par H.H. Barrows devant l'Association des géographes américains, cité par M. Reghezza (2007), l'objet de la géographie est « l'ajustement de l'homme à son environnement et non à l'influence de cet environnement ». Cette notion d'ajustement sera réutilisée par les géographes de l'École de Chicago, qui la distingueront de celle d'adaptation, la première étant vue comme une réponse ponctuelle et la deuxième correspondant à un processus à long terme. Leurs travaux sont en outre à l'origine du développement d'une écologie humaine, étude interdisciplinaire des interactions entre les hommes et leur environnement à la fois naturel, social et construit. Le concept d'adaptation est par ailleurs central dans les sciences de l'Homme : en anthropologie, dans l'étude des adaptations culturelles et sociales des populations à leur environnement ; en psychologie, pour comprendre les processus d'assimilation et d'accommodation des individus ; ou encore en sociologie, pour traiter des aptitudes à s'intégrer et développer un sentiment d'appartenance à un groupe (Simonet 2009).

Les travaux sur la systémique ont contribué à explorer et définir le concept d'adaptation à la fin du XX^e siècle. Dans un système, défini comme un ensemble d'éléments en interaction dynamique organisés en fonction d'un but (De Rosnay 1975), le couplage des rétroactions positives et négatives permet l'équilibre dynamique (homéostasie) et ainsi l'adaptation aux variations de l'environnement, condition nécessaire à son existence. Dans les travaux d'E. Morin (1985), l'adaptation est « conçue comme le processus au cœur du

changement, par lequel un système complexe accroît sa complexité en diminuant ses contraintes » (Simonet 2009).

Le concept d'adaptation, par ses aspects interdisciplinaires autour du thème de l'environnement, devient « un outil pour penser le rapport entre l'environnement et la société dans une perspective systémique d'actions réciproques » (Reghezza 2007). Ce concept est en conséquence particulièrement pertinent dans le cadre de « problématiques aux origines multifactorielles, issues de l'accélération actuelle des changements environnementaux et socioéconomiques globaux » (Simonet 2009), comme celle du changement climatique.

3.1.2. Une richesse sémantique freinant l'interdisciplinarité et l'opérationnalité

L'adaptation est un concept nouveau dans le champ du changement climatique, même si son histoire est considérable dans d'autres domaines. G. Simonet (2009) montre que le concept est polysémique du fait de son emploi pluridisciplinaire (biologie, anthropologie, sociologie, psychologie et géographie). En l'absence d'un cadre conceptuel commun, cette polysémie peut être un frein pour l'interdisciplinarité. L'adaptation au changement climatique rassemble des scientifiques issus des sciences du climat, de la gestion des risques, de la santé et du développement ou encore de l'économie. Selon N. Brooks (2003), « *Researchers from these fields bring their own conceptual models to the study of vulnerability and adaptation, models which often address similar problems and processes using different language* »²⁶. En outre, la littérature sur l'adaptation présente une multitude de termes (vulnérabilité, sensibilité, résilience, capacité d'adaptation, risque, zone de tolérance²⁷, etc.) dont les interrelations ne sont pas toujours claires et qui peuvent correspondre à des définitions différentes selon les contextes et les auteurs (*ibid.*). Afin de permettre les collaborations scientifiques, les chercheurs soulignent la nécessité de développer une terminologie commune, cohérente, flexible et transparente (Füssel 2007, Brooks 2003).

En outre, les définitions de l'adaptation dans le domaine du changement climatique ne permettent pas toujours de répondre précisément aux questions suivantes, pourtant fondamentales mais complexes : « *adaptation to what ?* », « *who and what adapts ?* », « *how does adaptation occur ?* »²⁸ (Smit *et al.* 2000). Les processus d'adaptation au changement climatique peut prendre des formes multiples, selon leur temporalité (adaptation anticipée, simultanée au stimulus ou réactive), l'intention (adaptation autonome ou planifiée), l'échelle spatiale (petite ou grande), la nature (technologique, comportementale, financière,

²⁶ Les chercheurs de ces domaines apportent leurs propres modèles conceptuels pour l'étude de la vulnérabilité et de l'adaptation, modèles qui abordent souvent des problèmes et des processus similaires en utilisant un langage différent.

²⁷ *Coping range*

²⁸ « adaptation à quoi ? », « qui et quoi s'adapte ? », « comment se fait l'adaptation ? »

institutionnelle ou informationnelle) ou encore le degré de changement requis (Smit et Wandel 2006). Les définitions de l'adaptation sont en conséquence à la fois larges et vagues. Dans le troisième rapport du GIEC (2001), l'adaptation au changement climatique est définie comme « *adjustment in ecological, social, or economic systems in response to actual or expected climatic stimuli and their effects or impacts* »²⁹ (Smit et Pilifosova 2001). Le quatrième rapport du GIEC (2007b) reprend cette définition mais ajoute que l'adaptation comprend des mesures pour réduire la vulnérabilité ou améliorer la résilience (Mertz *et al.* 2009), positionnant le concept à la fois dans le champ de la gestion des risques et dans le domaine de la complexité et de la systémique. Une autre particularité de l'adaptation au changement climatique qui ressort de ces définitions est qu'elle peut être réactive mais aussi anticipative. Les différentes disciplines précédemment évoquées présentent le point commun d'analyser l'adaptation des organismes, individus ou groupes, confrontés directement à « l'adversité » (Engle 2011). Par exemple, le modèle du cycle d'adaptation³⁰, qui identifie quatre phases dans la dynamique des systèmes socio-écologiques (croissance, conservation, effondrement, réorganisation), met l'accent sur l'adaptation réactive (Holling and Gunderson 2002). Selon N.L. Engle (2011), « *This innate ability to adapt to one's environment is what is referred to as reactive or autonomous adaptation, which represents a response to a stress that has already occurred* »³¹. Au-delà de cette adaptation réactive, les hommes possèdent « *the unique ability to anticipate future stresses, and are thus capable of taking proactive adaptation measures to lessen the perceived negative impacts from these future events* »³² (Engle 2011). Cette caractéristique correspond à une adaptation anticipative ou planifiée. En outre, comme le souligne N.L. Engle (2011), « *reactive adaptation does not always end well* »³³. Il évoque le terme « *maladaptation* » utilisé par R.A. Rappaport en 1977 pour désigner une adaptation qui ne réduit pas les impacts négatifs, mais au contraire les exacerbe. La « *maladaptation* » reflète la complexité de l'adaptation, celle-ci se produisant à différentes échelles spatiales et temporelles et pouvant être soumise à des desseins conflictuels, voire contradictoires (Adger *et al.* 2005).

Ainsi, l'adaptation est un processus complexe, parfois ambigu. Malgré des efforts de conceptualisation, le terme d'adaptation semble encore équivoque et en évolution. S'il est difficile à définir et à rendre opérationnel, c'est en outre à cause de sa double nature : « l'adaptation reste prisonnière de son étymologie, qui fait référence à la fois à une action (processus) et à la finalité (état) qui en résulte, dualité terminologique résumée par

²⁹ Ajustement des systèmes écologiques, sociaux ou économiques en réponse à des stimuli climatiques réels ou attendus et à leurs effets ou impacts.

³⁰ Adaptive cycle

³¹ Cette capacité innée à s'adapter à son environnement est ce que l'on appelle adaptation réactive ou autonome, représentant une réponse à une tension existante.

³² la capacité unique d'anticiper les futures perturbations et sont ainsi capables de mettre en place des mesures d'adaptation proactives pour réduire les impacts négatifs perçus de ces événements futurs.

³³ L'adaptation réactive ne finit pas toujours bien.

« l'adaptation-état » et « l'adaptation-processus » de Piaget (1967) » (Simonet 2009). Cette ambivalence est difficile à appréhender selon notre perception humaine du temps : « les adaptations observées paraissent d'une relative stabilité, alors qu'elles sont le fruit d'une évolution permanente » (*ibid.*). Le concept de « trajectoire d'adaptation », développé par A. Magnan (2009) vise à intégrer ces deux aspects par une vision évolutive de l'adaptation au changement climatique, en différentes phases. Pour R.A. Rappaport (1977), « *Like most central concepts, that of adaptation is not entirely clear, and perhaps it should not be. In remaining vague it itself remains adaptive* »³⁴. Une entrée plus opérationnelle apparaît néanmoins nécessaire pour contribuer à la définition de stratégies d'adaptation au changement climatique. Face à la difficulté d'analyser directement les processus d'adaptation, l'analyse des capacités d'adaptation des régions ou communautés permet de décomposer l'adaptation en se focalisant sur les potentialités et les agents de changement.

3.2. La capacité d'adaptation : intérêts et limites de son évaluation

3.2.1. Une approche « pragmatique » de l'adaptation

Une partie des travaux sur l'adaptation au changement climatique base ses recherches sur l'identification et l'évaluation de la capacité d'adaptation de communautés ou de régions (cf. Chapitre I.2.3.2). De nombreuses définitions de la capacité d'adaptation existent (Smit et Wandel 2006, Gallopín 2006, Engle 2011) et d'une manière générale elle est définie comme la capacité d'un système à modifier son comportement ou ses caractéristiques afin de mieux faire face aux perturbations externes, qu'elles soient actuelles ou anticipées (Brooks 2003). Malgré des limites relatives à la question des incertitudes et des échelles (cf. Chapitre I.2.3.2), l'étude de la capacité d'adaptation présente certains avantages par rapport à l'analyse des processus d'adaptation en eux-mêmes. La capacité d'adaptation favorise une approche pragmatique de l'adaptation, en facilitant à la fois l'appréhension scientifique de ce processus complexe et l'opérationnalité des résultats.

Du point de vue des risques, la capacité d'adaptation est une des trois composantes de la vulnérabilité, avec l'exposition et la sensibilité (Alberini 2006). L'évaluation des capacités d'adaptation d'un territoire permet ainsi d'identifier des leviers dans le fonctionnement du système permettant de réduire sa vulnérabilité (Adger et Vincent 2005). La capacité d'adaptation détermine en effet comment l'exposition aux risques va pouvoir être modifiée, comment le système va absorber les dommages et se remettre après une crise, ou encore comment les opportunités créées par le changement vont être exploitées (Adger et Vincent

³⁴ Comme la plupart des concepts centraux, celui de l'adaptation n'est pas tout à fait clair, et peut-être il ne devrait pas l'être. En demeurant vague il reste lui-même adaptatif.

2005). En termes de développement durable, l'adaptabilité d'un système humain est d'ailleurs définie de manière positive : c'est la capacité de ce système à augmenter (ou du moins maintenir) la qualité de vie de chacun de ses membres dans un environnement donné ou une série d'environnements (Gallopín 2006). La mise en place d'un développement durable nécessite de comprendre les interrelations entre les composantes écologiques, sociales et économiques des systèmes aux différentes échelles spatiales et temporelles (Folke *et al.* 2002). L'intégration du long terme passe par des réajustements en fonction des évolutions et des phénomènes émergents. L'adaptation n'est donc pas une fin en soi (Magnan 2008), un système ne pouvant être adapté une fois pour toute. Néanmoins les capacités d'adaptation d'un système constituent le potentiel à la mise en place d'un fonctionnement adaptatif et durable (Engle 2011). Ainsi, la capacité d'adaptation constitue « *a critical element of the process of adaptation: it is the vector of resources that represent the asset base from which adaptation actions can be made* »³⁵ (Adger et Vincent 2005). Si la capacité d'adaptation ne correspond certes pas à la concrétisation des processus d'adaptation, elle fournit néanmoins « *a picture of the adaptation space within which adaptation decisions are feasible* »³⁶ (Adger et Vincent 2005). Les adaptations peuvent être considérées comme des manifestations de la capacité d'adaptation, permettant de réduire la vulnérabilité (Smit et Wandel 2006). La capacité d'adaptation permet de se soustraire de l'ambivalence sémantique d'une adaptation à la fois état et processus en axant l'analyse sur l'identification d'un potentiel existant ou mobilisable pour l'adaptation. En examinant les conditions et possibilités de mise en place de mesures d'adaptation, la capacité d'adaptation apparaît comme plus opérationnelle que le concept d'adaptation. D'après B. Smit et J. Wandel (2006), « *In numerous social science fields, adaptations are considered as responses to risks associated with the interaction of environmental hazards and human vulnerability or adaptive capacity* »³⁷. La capacité d'adaptation d'un système ou d'une société, qui définit un potentiel pour la réduction de la vulnérabilité aux changements climatiques, est déterminée par des facteurs non climatiques (Füssel et Klein 2002). Son étude permet ainsi de se défaire de la relation au risque, fortement incertain dans le domaine du changement climatique, pour se concentrer sur les propriétés inhérentes au système ou à la société qui sont favorables ou défavorables à la mise en place d'adaptations.

Ainsi, l'élaboration de scénarios et d'hypothèses sur la capacité d'adaptation est considérée comme plus utile et maniable que la construction de scénarios d'adaptation (Adger et Vincent 2005). En effet, « *Predicting adaptation requires adopting a model that describes*

³⁵ Un élément critique du processus d'adaptation : il est le vecteur des ressources qui constituent les éléments à la base des actions d'adaptation

³⁶ Une image de l'espace d'adaptation dans lequel les mesures d'adaptation sont réalisables

³⁷ Dans de nombreux domaines des sciences sociales, les adaptations sont considérées comme des réponses aux risques liés à l'interaction entre les risques environnementaux et la vulnérabilité ou capacité d'adaptation des hommes.

the processes of adaptation. This is difficult because adaptation comes through markets, civil society and government action and complex interactions between them »³⁸ (Adger et Vincent 2005). L'adaptation, contrainte par la capacité d'adaptation, implique une importante série d'incertitudes dans les processus décisionnels (Adger et Vincent 2005). Une évaluation globale de la capacité d'adaptation ne peut se passer d'une analyse des interrelations entre les composants du système en présence afin de mettre en évidence leur rôle parfois combiné en termes d'adaptation. Cependant, l'étude de la capacité d'adaptation permet de mettre de côté, au moins temporairement, l'incertitude et la complexité croissante entourant la projection des interactions dans le futur, pour se concentrer sur l'existant et en s'appuyant sur les expériences passées. L'étude de la capacité d'adaptation met en évidence les ressources disponibles pour l'adaptation et non pas les adaptations les plus probables ou les plus souhaitables (Adger et Vincent 2005). D'après N. L. Engle (2011), « *With climate change, the past is not necessarily prologue (Milly et al., 2008), but there are important lessons that can be applied from previous experiences in considering anticipatory adaptations, especially in identifying the social mechanisms that might better facilitate, not inhibit, reactive and proactive adaptations (i.e., those mechanisms that increase adaptive capacity)* »³⁹. La nécessité d'identifier les éléments constitutifs de la capacité d'adaptation est ainsi soulignée, d'autant plus qu'il est reconnu que la capacité d'adaptation n'est pas également répartie mais qu'elle varie selon les contextes et les systèmes (Adger et al. 2007). L'identification des capacités d'adaptation et de leurs rôles constitue une entrée à l'étude des processus d'adaptation en examinant les « ressources » de toutes natures qui pourront être vecteurs d'adaptation. En misant sur la complémentarité et la mise en relation des résultats, il semble même que l'étude de la capacité d'adaptation pourrait ainsi constituer un terrain pour l'interdisciplinarité. L'évaluation des capacités d'adaptation n'est cependant pas une chose aisée.

3.2.2. Difficultés et limites de l'évaluation des capacités d'adaptation au changement climatique

La nature particulière de la capacité d'adaptation, potentiel pour la mise en place de l'adaptation, apporte de nouvelles limites et de nouveaux défis, qui ne sont pas toujours abordés dans les méthodes actuelles de son évaluation. La réalisation de l'adaptation est empreinte d'incertitudes, ce qui contribue à rendre l'évaluation des capacités d'adaptation

³⁸ Prédire l'adaptation exige l'adoption d'un modèle qui décrive les processus d'adaptation. Cela est difficile parce que l'adaptation passe par les marchés, la société civile et l'action du gouvernement, et les interactions complexes entre eux.

³⁹ Avec le changement climatique, le passé n'est pas nécessairement prologue (Milly et al. 2008), mais d'importantes leçons peuvent être tirées des expériences précédentes d'adaptations anticipatives, en particulier dans l'identification des mécanismes sociaux qui pourraient faciliter, et non entraver, les adaptations réactives et proactives (par exemple, ces mécanismes qui renforcent la capacité d'adaptation) (Adger 2001; Haddad 2005).

plus pragmatique. Néanmoins, il en résulte également qu'une grande capacité d'adaptation ne se traduira pas forcément par des adaptations. Par exemple, malgré une forte capacité d'adaptation à la chaleur à l'aide de solutions relativement bon marché, les habitants des zones urbaines de certaines parties du monde, y compris dans les villes européennes, connaissent des niveaux de mortalité élevés lors des vagues de chaleur (Adger et al 2007). Ainsi, même si une capacité d'adaptation existe ou a été développée, il y a toujours une incertitude quant à savoir si les individus, les communautés ou les pays utiliseront cette capacité pour s'adapter aux impacts du changement climatique (Adger et Vincent 2005). Les capacités d'adaptation ne sont donc pas garantes de la résilience d'un système, mais il est admis qu'une grande capacité d'adaptation se traduit généralement par des effets positifs (Gallopín *et al.* 1989).

D'après C. Folke *et al.* (2002), « *Addressing how people respond to periods of change, how society reorganizes following change, is the most neglected and the least understood aspect in conventional resource management and science* »⁴⁰. Les recherches actuelles, définissant la capacité d'adaptation comme la capacité collective des acteurs humains à gérer la résilience d'un système socio-écologique (Walker *et al.* 2004), accordent d'avantage d'attention au fonctionnement des institutions et aux comportements des acteurs (et notamment aux aspects d'apprentissage et de perception). D'après N.L. Engle (2011), il y a ainsi eu une affirmation grandissante du rôle essentiel que les institutions, la gouvernance et la gestion jouent dans la capacité d'un système à s'adapter aux changements climatiques. Selon C. Folke *et al.* (2002), la capacité d'adaptation des systèmes sociaux est fortement liée à l'existence d'institutions et de réseaux capables d'apprendre et de stocker les connaissances et l'expérience, de créer de la flexibilité dans la résolution de problèmes et d'équilibrer les forces entre les différents groupes d'intérêt. Malgré une meilleure prise en considération de ces aspects, la non-prédictibilité des comportements humains ainsi que les interactions complexes à différentes échelles ou entre systèmes, font qu'une part de ces incertitudes demeure incompressible. N. Brooks (2003) montre comment une intervention sur un marché national ou international peut affecter le prix d'une denrée produite par une communauté, avec des conséquences dramatiques sur sa situation économique et ainsi sur sa capacité d'adaptation au risque de sécheresse.

En outre, le troisième rapport du GIEC (2001) reconnaît que la capacité d'adaptation peut être sous-jacente et temporellement latente. En effet, il est possible que la capacité d'adaptation émerge seulement lors de l'exposition du système aux stimuli climatiques réels ou attendus (Adger et Vincent 2005). Selon W.N. Adger (2006), les ressources permettant de

⁴⁰ Aborder comment les gens répondent aux périodes de changement, comment les sociétés se réorganisent après le changement, est l'aspect le plus négligé et le moins compris dans la gestion conventionnelle des ressources et en science.

réduire la vulnérabilité en période de crise sont ainsi en grande partie latentes dans les différentes institutions sociales. D'autre part, le système ayant besoin de temps pour que sa capacité d'adaptation se concrétise par une adaptation, l'adaptation ne se produit pas de manière instantanée (Brooks 2003). En conséquence, une grande capacité d'adaptation permettra de réduire la vulnérabilité aux perturbations futures (par une adaptation anticipée du système) et aux perturbations correspondant à un changement lent sur des périodes relativement longues, auxquelles le système pourra s'adapter de manière progressive (Brooks 2003).

Ces caractéristiques, incertitude et complexité, contribuent à rendre impossible une prévision déterministe de l'adaptabilité d'un système et obligent une prise en compte de cette imprécision dans l'évaluation de la capacité d'un système à s'adapter. Elles ne remettent néanmoins pas en cause l'intérêt d'identifier les facteurs favorisant l'adaptation et ses obstacles, afin de définir les potentialités du système et les leviers d'action. Un des principaux manques auquel l'évaluation de la capacité d'adaptation est actuellement confrontée est l'absence d'un cadre théorique soutenant une conceptualisation plus fine de l'adaptabilité et de ses composantes. D'après S.H. Eriksen et P.M. Kelly (2007), à propos des évaluations de la vulnérabilité et de la capacité d'adaptation à l'échelle nationale, « *A lack of a clear theoretical and conceptual framework for the selection of indicators has hampered the robustness, transparency and policy relevance of previous studies* »⁴¹. À ce jour, il y a très peu de consensus pour un modèle général des composants et des processus de la capacité d'adaptation (Smit et Wandel, 2006). Les seules analyses replaçant la capacité d'adaptation dans un cadre théorique sont des états de l'art visant à expliciter ses relations avec les champs de la résilience et de la vulnérabilité qui eux-mêmes témoignent d'une grande diversité de points de vue et de relations imprécises entre les concepts.

Même si les facteurs d'adaptation sont spécifiques aux systèmes étudiés (Adger et Vincent 2005) et malgré le caractère multivarié et non déterministe des processus d'adaptation, cela ne devrait pas contraindre l'émergence d'un modèle théorique de l'adaptabilité. En effet, pour S.H. Eriksen et P.M. Kelly (2007), « *Precisely because of the complexity, it is all the more important to outline a conceptual framework so that assumptions about how processes shape vulnerability [and adaptability] underlying indicator selection can be assessed* »⁴². Dans les recherches évaluant la capacité d'adaptation ou la vulnérabilité sociale, les indicateurs sont choisis a priori et leur relation avec l'adaptabilité du système n'est peu ou pas analysée par la suite (cf. Chapitre I.2.3.2). Ainsi, le choix des indicateurs n'est pas

⁴¹ Le manque d'un cadre théorique et conceptuel clair pour la sélection des indicateurs dans les études antérieures a entravé leur robustesse, leur transparence et leur pertinence pour les politiques d'adaptation.

⁴² Précisément en raison de cette complexité, il est d'autant plus important d'établir un cadre conceptuel afin que les hypothèses sur les processus constitutifs de la vulnérabilité [et de l'adaptabilité], sous-jacents à la sélection des indicateurs, puissent être contrôlées.

justifié sur un plan théorique et la vérification des indicateurs est presque inexistante. Selon S.H. Eriksen et P.M. Kelly (2007), la définition des cadres conceptuels sous-jacents expliciterait les hypothèses soutenant le choix des indicateurs et rendrait possible une validation.

3.3. Démarches d'analyse de l'adaptabilité des territoires au changement climatique

3.3.1. Intérêts d'une approche systémique et spatiale pour évaluer les capacités d'adaptation des territoires

Face aux difficultés de mener une évaluation des capacités d'adaptation prenant en compte les spécificités et le fonctionnement des territoires, nous proposons une analyse systémique et spatiale des territoires pour mettre en évidence les propriétés sur lesquelles se fonde leur adaptabilité (H4). En effet, seule une approche systémique peut identifier les processus et les structures qui contraignent ou favorisent l'adaptation. Les interrelations entre les facteurs d'adaptation ne sont généralement pas prises en compte alors que la capacité d'adaptation est générée par les interactions entre facteurs, qui existent et fonctionnent différemment selon les contextes (Smit et Wandel 2006). Par exemple, la manière dont les technologies influencent l'adaptabilité diffère selon leurs interactions avec les processus politiques, sociaux et économiques, ou encore selon le type de technologie disponible ou réalisable. Selon A. Taché (2005), un des enjeux de l'adaptation est la reconnaissance, par le système lui-même, de sa complexité. Il s'agit alors de dépasser les approches déterministes de l'évaluation des capacités d'adaptation, où sont agrégés divers indicateurs socio-économiques définis a priori, pour une approche plus contextuelle et exploratoire, abordant les territoires sous l'angle de la complexité. L'enjeu est d'arriver à identifier les processus qui concourent à l'adaptabilité d'un territoire, celle-ci ne correspondant pas à un état issu de la somme de diverses composantes mais à un fonctionnement résultant des interactions entre ces composantes. L'approche systémique permet de rendre le fonctionnement des territoires plus intelligible et d'identifier leur capacité à se maintenir, à se transformer, à s'adapter aux perturbations extérieures sur la base de leurs caractéristiques systémiques (sous-systèmes, rétroaction, diversification, etc.).

En outre, l'adaptabilité dépend d'une organisation non seulement sociale et institutionnelle, mais plus généralement territoriale, dont la dimension spatiale est souvent omise dans les analyses visant à évaluer les capacités d'adaptation. Il semble d'ailleurs que les expressions « capacité d'adaptation d'un territoire » et « capacité d'adaptation d'une communauté » soient indistinctement employées dans la littérature scientifique sur le sujet, si

ce n'est pour traduire un changement d'échelle (territoire faisant alors référence à une entité plus vaste). Sans omettre le rôle fondamental des acteurs et des institutions, nous pensons que l'analyse des capacités d'adaptation des territoires tirerait bénéfice d'une appréhension élargie à la dimension spatiale. La répartition dans l'espace des hommes, des activités, des infrastructures, ou encore des milieux naturels, induit des interactions, des fonctionnements et des évolutions particulières. Nous pensons ainsi que l'organisation spatiale contribue aux capacités d'adaptation des territoires, de la même manière que l'organisation d'un système contribue à définir ses possibilités d'adaptation (Taché 2005). Nous employons alors le terme d'adaptabilité, car c'est un potentiel mis à disposition des acteurs, qui sont eux-mêmes dotés d'une capacité d'adaptation, leur permettant de se saisir de ce potentiel. L'enjeu est ici de montrer et d'analyser le rôle de l'espace dans l'adaptabilité des territoires. La prise en compte de l'organisation spatiale nous paraît indispensable pour une analyse des capacités d'adaptation intégrant les contextes territoriaux. Elle constitue une entrée complémentaire à l'analyse des organisations socio-institutionnelles, et offre également des retombées pragmatiques en termes d'actions d'adaptation à initier. En effet, il s'agit du « terrain » où des mesures d'adaptation sont susceptibles d'être mises en place, sous forme d'actions et de politiques d'aménagement du territoire (mise en place d'un ouvrage de défense contre la mer, définition d'un périmètre restreignant l'urbanisation, etc.).

Nous pensons qu'une analyse systémique et spatiale des capacités d'adaptation d'un territoire constitue une entrée opérationnelle dans la problématique de l'adaptation au changement climatique et faisons l'hypothèse qu'elle peut contribuer à la détermination de mesures d'adaptation en adéquation avec les contextes territoriaux (H5). L'analyse de l'adaptabilité des territoires au changement climatique correspond à notre sens à une évaluation des potentialités d'évolution basée sur les propriétés et fonctionnement du système territorial (et spatial) et nous l'envisageons ainsi telle une démarche de prospective spatiale. Il s'agit pour nous d'identifier, dans une démarche exploratoire, les marqueurs spatiaux favorables et défavorables à la mise en place du changement et ainsi à l'adaptation. Ce potentiel d'évolution de l'espace correspond au substrat en fonction duquel, et non pas seulement sur lequel, le changement peut intervenir. La prospective spatiale se fonde en effet sur la sensibilité différenciée des espaces face au changement et sur les potentialités et degrés de liberté distincts existant dans l'évolution des structures spatiales (Casanova 2010). Les acteurs peuvent se saisir de ce potentiel d'évolution pour adapter leur territoire en adéquation avec les contraintes et les opportunités offertes par l'organisation spatiale. Les méthodes et outils de l'analyse spatiale et de l'analyse systémique sont mobilisés pour faire émerger et organiser la connaissance sur l'adaptabilité des territoires, dans deux perspectives complémentaires qui sont à présent développées.

3.3.2. Une démarche heuristique par simulation spatiale et systémique : Occupations du sol et consommations d'eau face aux changements de température et de pluviométrie

Dans un premier temps, une démarche que l'on peut qualifier d'heuristique est développée afin d'analyser comment l'organisation spatiale d'un territoire joue sur sa propre évolution et montrer que des organisations spatiales distinctes se traduisent par une adaptabilité différenciée. Certaines caractéristiques des systèmes spatiaux contribuent à déterminer leur évolution et borneraient ainsi les possibilités d'adaptation des territoires face à des perturbations internes et externes. Ainsi, les territoires se caractérisaient par des capacités d'adaptation qui leur sont propres, auxquelles contribue l'organisation spatiale. À partir d'une modélisation spatiale et systémique, le jeu des interrelations entre les différentes composantes de systèmes territoriaux fictifs est exploré par des simulations basées sur différents scénarios d'évolution et différentes configurations initiales. La modélisation offre la possibilité de simuler l'apparition d'une situation de crise et de tester l'efficacité de mesures anticipatives et réactives visant à éviter ou sortir d'une telle situation. L'emploi de territoires fictifs permet d'expérimenter et comparer les marges de manœuvre qu'ils offrent en termes d'adaptation, autrement dit leur adaptabilité. Afin de mettre en évidence le rôle de l'espace dans l'adaptabilité, la démarche est mise en œuvre pour différentes configurations spatiales initiales, toutes choses étant égales par ailleurs (les activités présentes sur les territoires, leurs règles d'évolution, etc.)

Cette démarche est appliquée à l'analyse du potentiel de différentes organisations spatiales (appréhendées par l'occupation des sols : habitat collectif, mixte, individuel, agriculture sèche et arrosée, milieu naturel) pour adapter la consommation d'eau face aux évolutions des besoins et de la ressource. Nous nous plaçons en effet dans le contexte des territoires littoraux de l'Arc Latin, qui présentent de fortes dynamiques urbaines et des ressources en eau limitées. Ainsi, seront prises en compte l'évolution de l'occupation du sol et ses conséquences sur la consommation d'eau d'une part, et l'évolution des paramètres climatiques selon différents scénarios du GIEC (température, pluviométrie) et ses effets sur la disponibilité de la ressource en eau d'autre part. Une modélisation spatiale et systémique, couplant automate cellulaire et dynamique des systèmes, appréhendera la complexité de l'évolution du système territorial dans l'espace et dans le temps. Les simulations portent sur la période 2010-2060, avec le trimestre pour pas de temps. La modélisation systémique se base sur un travail que nous avons développé avec C. Voiron-Canicio, N. Dubus et J.-C. Loubier pour le Cinquième Symposium de Recherche Urbaine portant sur les villes face au changement climatique (2009).

3.3.3. Une démarche tournée vers l'opérationnalité par diagnostic territorial : Activités et acteurs en Camargue face à la montée du niveau de la mer

Dans un deuxième temps, c'est une démarche tournée vers l'opérationnalité qui est mise en place, à travers un diagnostic territorial orienté vers l'évaluation de l'adaptabilité d'un territoire littoral. La démarche est appliquée à la problématique de l'adaptation des activités en Camargue face à la montée du niveau de la mer. Il s'agit, par une analyse systémique, d'identifier les éléments qui, dans le fonctionnement du système territorial, peuvent constituer un frein à son adaptation, et les configurations qui la favorisent et pourraient soutenir la mise en place des stratégies d'adaptation, tant au niveau des acteurs et de la gouvernance que de l'organisation spatiale.

Cette recherche est développée dans le cadre du programme interdisciplinaire CAMPLAN - Gestion intégrée d'un hydrosystème : Camargue et Plan-du-Bourg (Allouche *et al.* 2012), piloté par l'UMR ESPACE. L'omniprésence de l'eau en Camargue est à l'origine d'une multiplicité de ses usages (agriculture, conservation de la nature, tourisme, saliculture, chasse, industrie portuaire, zones urbaines) et de leur interdépendance. Ces usages sont à l'origine d'une diversité d'acteurs et d'une certaine conflictualité, liée à des besoins différents en eau en termes de quantité, de qualité et de saisonnalité. Les multiples interactions entre hydrosystème et anthroposystème, les divers risques naturels et anthropiques et les évolutions en cours rendent difficile la compréhension de ce système complexe. Ils font du territoire camarguais un territoire perçu comme en crise. La montée du niveau de la mer vient compromettre la gestion du fonctionnement hydraulique du delta, dont les échanges avec la mer sont régulés à l'aide de vannes. Du fait du niveau de la mer, les possibilités de sorties d'eau sont désormais très restreintes, ce qui impacte les activités et provoque une augmentation des risques d'inondation, aussi bien par la mer que par le Rhône. Dans ce contexte, l'objectif du programme CAMPLAN est « d'aider les gestionnaires à mieux comprendre le fonctionnement global du système afin de tenter de leur apporter une aide pour l'élaboration des stratégies de gestion selon deux objectifs principaux : 1) mettre en évidence les éléments porteurs de crise ; 2) approfondir les connaissances actuelles et passées du fonctionnement du système camarguais et des sous-systèmes spatiaux qui le composent afin d'évaluer leurs capacités à se maintenir, à se transformer et à s'adapter aux perturbations » (Dervieux *et al.* 2008). Le programme CAMPLAN est un programme interdisciplinaire en sept volets rassemblant des chercheurs en histoire, écologie, hydrologie, sociologie, anthropologie et géographie (Figure II-6). Il est animé par une forte volonté de transversalité, qui s'est traduite par des ateliers chercheurs-gestionnaires donnant lieu à un volet supplémentaire sur la notion de crise, et par un volet systémique chargé de mettre en relation les connaissances produites par l'ensemble de l'équipe pour une analyse de l'adaptabilité du

système camarguais et l'identification des points de blocage et des leviers d'action. C'est dans ce dernier volet que s'inscrit notre travail de recherche.

Volet 0	Volet transversal sur la notion de crise à partir des ateliers chercheurs – gestionnaires (A. Allouche, L. Nicolas, UMR ESPACE/RESSOURCE)
Volet 1	Crises, adaptations, héritages (P. Allard, Université de la Méditerranée, UMR ESPACE)
Volet 2	Crises hydrauliques et conditions limites dans l'Île de Camargue et le Plan du Bourg. Limites des hydrosystèmes et/ou limites de la gouvernance ? (Alain Dervieux, UMR ESPACE)
Volet 3	Formalisation des contraintes du fonctionnement hydraulique et hydrosalin de surface des hydrosystèmes du Delta du Rhône (P. Chauvelon, Tour du Valat)
Volet 4	Recherches sur les géosystèmes du Delta Rhodanien (J. Morschel, UMR ESPACE)
Volet 5	Intégration des connaissances et des flux d'informations et prise de décision, (A. Allouche, UMR ESPACE/RESSOURCE)
Volet 6	Pratiques, perceptions et représentations du système (L. Nicolas, UMR ESPACE DESMID/RESSOURCE)
Volet 7	Volet transversal : Approche systémique (C. Voiron, S. Liziard, UMR ESPACE)

Figure II-6. Organisation des travaux de recherche du programme CAMPLAN

Conclusion

Face à la complexité des processus d'adaptation, l'analyse des capacités d'adaptation des territoires permet d'appréhender la problématique de l'adaptation de manière pragmatique, par la recherche des conditions et possibilités de mise en place de l'adaptation. L'analyse de la capacité d'adaptation d'un territoire n'est cependant pas sans difficulté : la capacité d'adaptation correspond à un potentiel sous-jacent, multiforme et multifactoriel, résultant de la combinaison de différents éléments du territoire et de leur convergence vers des mécanismes d'adaptation. En outre, les enjeux relatifs à l'adaptation au changement climatique ne sont pas les mêmes selon les territoires. Ainsi, la définition de mesures d'adaptation au changement climatique qui soient adaptées aux territoires en question constitue un enjeu fort de la problématique de l'adaptation. C'est aussi, en plus des

incertitudes relatives aux changements climatiques, une difficulté supplémentaire pour les gestionnaires des territoires, qui ne peuvent recourir à des modes d'action plus ou moins standardisés comme c'est par exemple le cas pour l'atténuation des émissions de gaz à effets de serre. Alors que l'évaluation des capacités d'adaptation est généralement limitée à l'application d'une grille de critères définis a priori, les deux démarches que nous proposons sont exploratoires. Elles visent à intégrer la dimension spatiale et la complexité du fonctionnement des territoires dans l'analyse de leur adaptabilité au changement climatique.

Conclusion du Chapitre II

La littoralisation correspond au processus de concentration des hommes et des activités sur les littoraux. L'Arc Latin est caractérisé par une littoralisation relativement ancienne et soumis à une pression croissante des activités humaines. Le changement climatique renforce les incertitudes sur l'avenir de ces littoraux. **La connaissance du fonctionnement des systèmes spatiaux et des dynamiques territoriales est nécessaire pour appréhender leurs évolutions et leur adaptabilité. Les deux axes de recherche développés dans cette thèse, portant d'une part sur une prospective des territoires littoraux de l'Arc Latin et d'autre part sur l'évaluation de l'adaptabilité des territoires au changement climatique, renvoient à une problématique commune, qui est celle du devenir et des modalités d'évolution des territoires littoraux.** En effet, qu'il s'agisse de chercher comment des territoires sont susceptibles d'évoluer dans le futur ou comment une adaptation pourrait être mise en place pour modifier cette évolution, cela consiste à étudier les propriétés et les mécanismes du territoire sur lesquels se fondent ses évolutions. **Pour les deux axes, l'approche adoptée est similaire (Figure II-7) : elle consiste en une démarche exploratoire (ESDA, simulation, diagnostic), basée sur une conception holistique de l'évolution et du fonctionnement des territoires (analyse des trajectoires territoriales, modélisation et analyse systémiques) et intégrant la dimension spatiale (analyse spatiale, modélisation spatiale, analyse des propriétés de systèmes spatiaux). Interrogeant le rôle des configurations spatiales dans l'évolution des territoires, la posture générale est celle de la prospective spatiale (évaluation du devenir des territoires en lien avec leurs trajectoires spatiotemporelles, analyse de l'adaptabilité différenciée des territoires selon leur organisation spatiale, recherche des facteurs spatiaux de l'adaptabilité).** La prospective spatiale analyse les manières dont peut se produire du changement sur l'espace et ses incidences, pour permettre d'anticiper les évolutions des territoires (Casanova 2010).

Analyse prospective des territoires littoraux dans le contexte du changement climatique

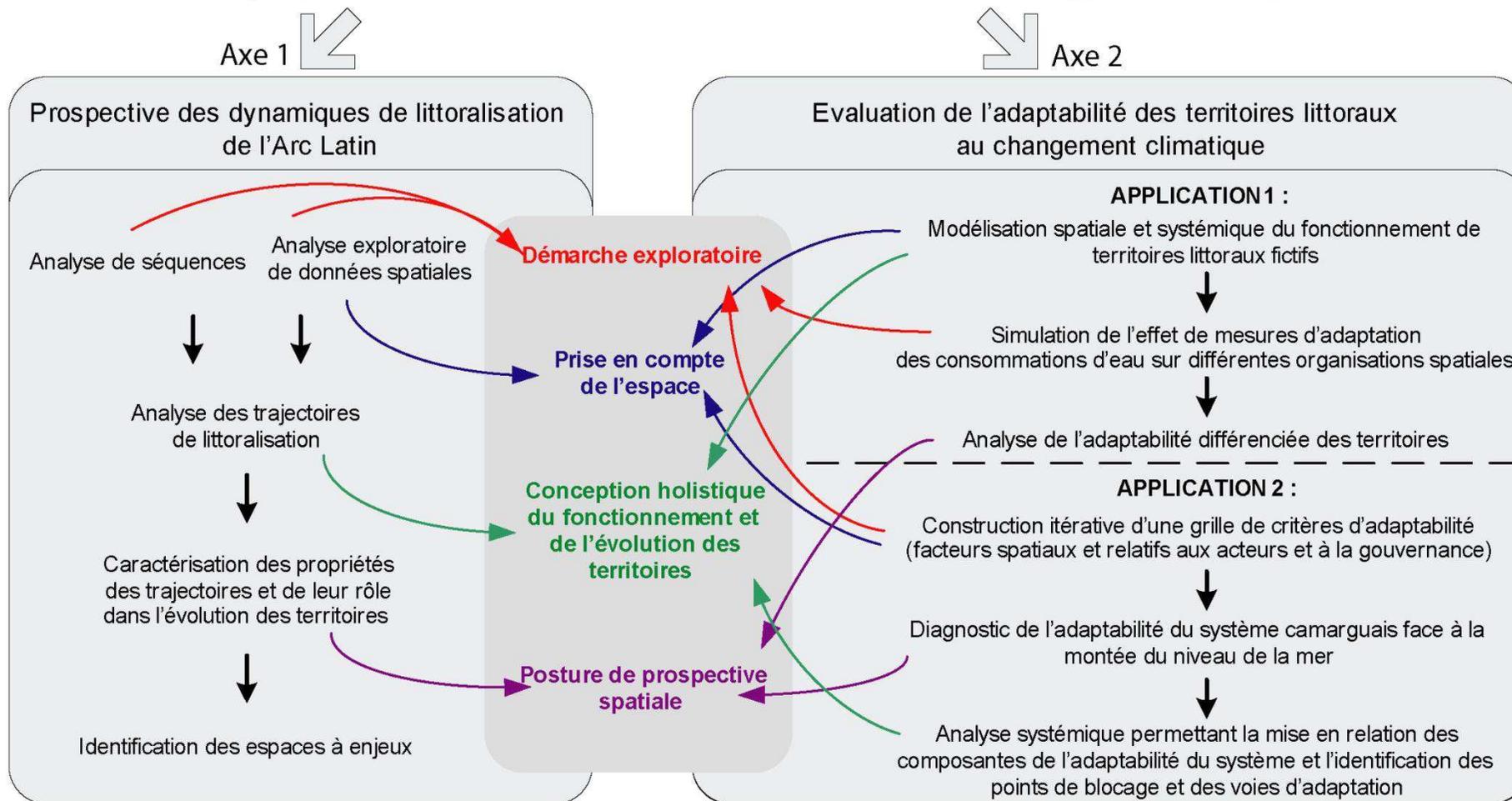


Figure II-7. Positionnement adopté et architecture du projet de recherche

DEUXIEME PARTIE

PROSPECTIVE DES TRAJECTOIRES DE LITTORALISATION DE L'ARC LATIN

Cette deuxième partie est consacrée à l'analyse prospective des dynamiques spatiales de littoralisation de l'Arc Latin. Inscrite dans une démarche de prospective spatiale, l'évaluation des évolutions potentielles des territoires littoraux est réalisée à travers une analyse des trajectoires de peuplement et de leurs propriétés (cf. Chapitre I.1). La prospective se base ainsi sur une analyse rétrospective, présentée en Chapitre III, qui vise à formaliser et comparer les trajectoires territoriales. Celles-ci sont envisagées comme la succession des configurations spatiales traduisant la logique d'évolution du territoire. L'analyse des dynamiques de peuplement porte sur une partition de l'Arc Latin en 39 aires d'étude, entre 1960 et 2010 (cf. Chapitre II.2.2.1). Retracer les trajectoires et analyser leurs propriétés – orientation, stabilité, stade, vitesse – permet ensuite de prolonger leurs évolutions potentielles à travers l'identification d'espaces à enjeux, ce qui sera présenté dans le Chapitre IV.

Chapitre III. Analyse rétrospective des trajectoires de littoralisation

Même s'il s'agit d'une tendance lourde, le processus de littoralisation ne s'exercerait pas de manière homogène sur les littoraux, ni dans le temps ni dans l'espace (H2). Il se traduit en effet par des formes et stades variés, qui sont cependant plus souvent appréhendés en termes d'accroissement de pressions anthropiques qu'en tant que logique spatio-temporelle d'évolution territoriale. C'est ce que nous cherchons à mettre ici en œuvre à travers l'analyse de trajectoires de territoires. La difficulté réside dans la mise en évidence des éléments constitutifs de la trajectoire territoriale. Pour caractériser les trajectoires, deux aspects de l'évolution des territoires nous paraissent devoir être pris en compte : non seulement l'évolution de l'organisation spatiale du territoire, mais aussi l'évolution de l'organisation spatiale des dynamiques qui l'animent (cf. Chapitre II.2.2.2). Pour l'analyse des trajectoires de littoralisation, deux analyses sont ainsi mises en place. D'une part, une analyse de l'évolution de la distribution de la population conditionnellement au trait de côte est réalisée par traitements S.I.G. D'autre part, l'analyse de l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement, qui nécessite une analyse plus fine et exploratoire, combine des méthodes de l'analyse exploratoire de données (ESDA) et de l'analyse de séquences.

1. Analyse de la distribution de la population conditionnellement au trait de côte

L'analyse de la distribution de la population en fonction de la distance au rivage permet d'analyser spécifiquement le déploiement de la littoralisation sur les côtes de l'Arc Latin. Replacée dans une perspective diachronique, cette analyse permet de faire émerger des profils spatio-temporels d'évolution de la distribution de la population. Au préalable, nous proposons une première incursion dans les données de population issues des recensements espagnols, français et italiens, à travers l'analyse des différentiels de population entre les 39 aires d'étude de l'Arc Latin.

1.1. Méthode d'analyse du déploiement de la littoralisation

1.1.1. Première analyse des différentiels de population au sein de l'Arc Latin

Sur l'Arc Latin, la population des communes situées à moins de 40 km du rivage passe de 33 millions au début des années 1960 à près de 48 millions à la fin de la décennie 2000, soit une augmentation de 44%. Cependant, d'importantes disparités s'observent entre les taux de croissance des trois pays. La France et l'Espagne présentent des taux de croissance extrêmement forts (respectivement 78% et 93%), tandis que celui de l'Italie est de 16% seulement. Ainsi, alors que l'Italie représentait 60% de la population de l'Arc Latin, cette proportion est inférieure à 50 % à la fin de la décennie 2000. La chute de la natalité italienne en est à l'origine (cf. Chapitre I.1.1.1). Cette perte de poids relatif se fait surtout au bénéfice de l'Espagne qui passe de 29 à 39% de la population totale. L'augmentation de la population est néanmoins de près de 9 millions d'habitants en Italie, contre un peu plus de 3 millions pour l'Espagne, et un peu moins de 3 millions pour la France. La Figure III-1 montre cette progression rapide de la partie espagnole de l'Arc Latin, dont la population est passée 9 à 18 millions en cinquante ans.

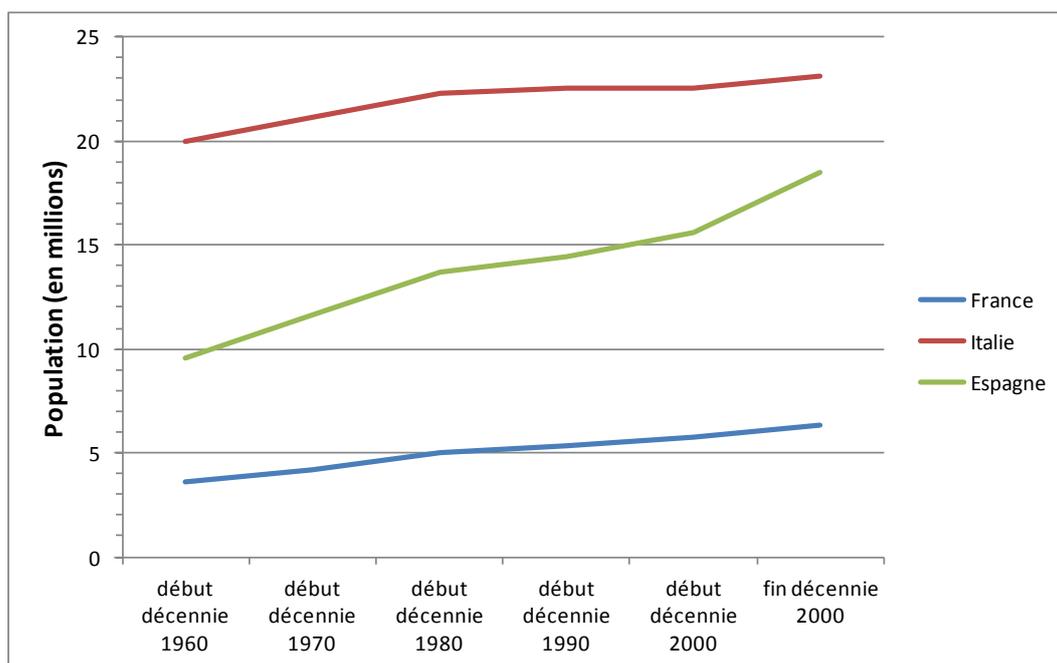


Figure III-1. Evolution de la population de l'Arc Latin par pays

Cette évolution différenciée par pays se retrouve à l'échelle des 39 aires d'étude (Figure III-2). L'ensemble des provinces italiennes sont caractérisées par les plus faibles taux de croissance, et sept d'entre elles ont même connu une évolution négative entre 1960 et 2010. Seuls l'Aude et Grenade présentent une dynamique moins soutenue que les autres provinces espagnoles et départements français. La population du Var, de Gérone, Tarragone, des Baléares et d'Alicante a plus que doublé en cinquante ans.



Figure III-2. Taux de croissance démographique entre 1960 et 2010 des 39 aires d'étude

La carte des taux de croissance à l'échelle communale (Figure III-3) montre de fortes disparités au sein même des différentes aires d'étude, principalement en termes de littoralisation, c'est-à-dire de différentiel entre littoral et arrière-pays. La forte croissance des provinces telles que Gérone, Castellón ou encore Almeria, ne concerne qu'une frange littorale – pas forcément continue – alors que le reste de l'aire est caractérisé par un taux de croissance négatif.

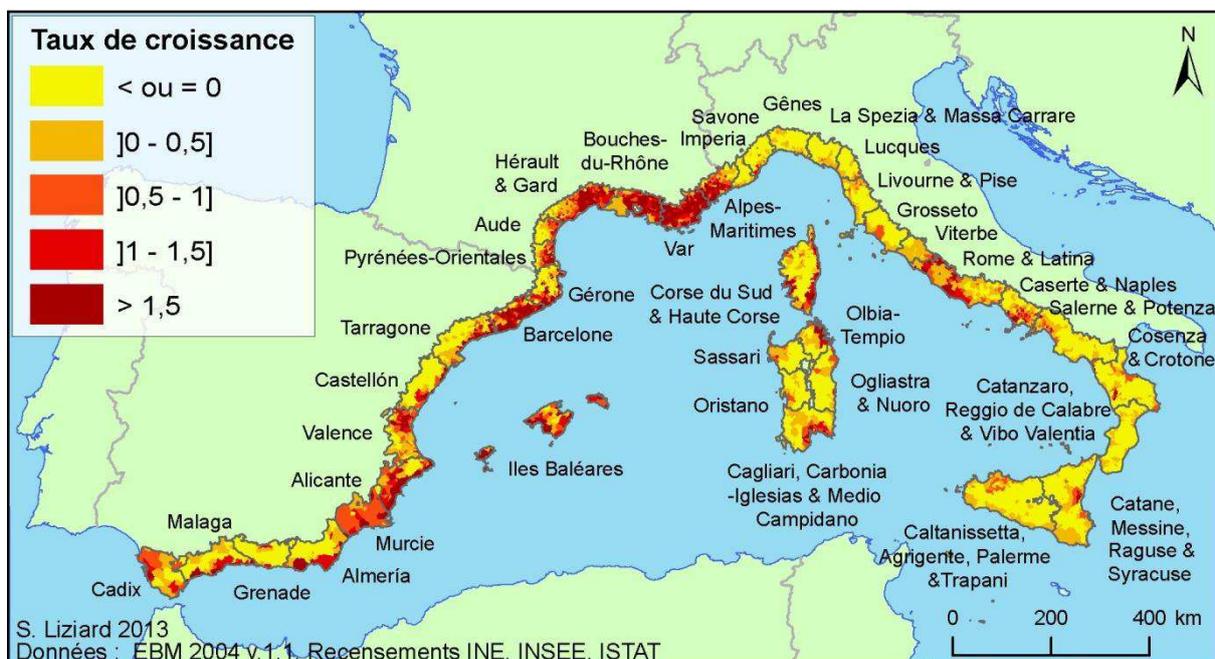


Figure III-3. Taux de croissance démographique des communes de l'Arc Latin entre 1960 et 2010

Les espaces intérieurs caractérisés par une forte croissance sont généralement situés à l'emplacement ou au voisinage des grandes villes et aires urbaines de l'Arc Latin, représentées sur la Figure III-4 par l'intermédiaire des densités de population.



Figure III-4. Densités de population des communes de l'Arc Latin à la fin de la décennie 2000

Si elle permet de resituer les grands contrastes en termes de population et de sa tendance d'évolution entre 1960 et 2010, cette première analyse montre aussi la nécessité d'une démarche plus formalisée pour comparer les différents espaces de l'Arc Latin et leurs évolutions. Une partition de l'espace en quatre bandes parallèles au rivage permet de structurer l'information relative à la distribution de la population au moyen d'indicateurs.

1.1.2. Partition de l'espace en quatre bandes parallèles au rivage

L'aire de 40 km à partir du front de mer est divisée en quatre bandes parallèles au rivage (0 à 10 km, 10 à 20 km, 20 à 30 km, 30 à 40 km) (Figure III-5). Cette partition est appliquée à chacune des 39 aires d'étude. L'analyse des Baléares se limite à 30 km à l'intérieur des terres du fait de la taille des îles qui forment cet archipel.

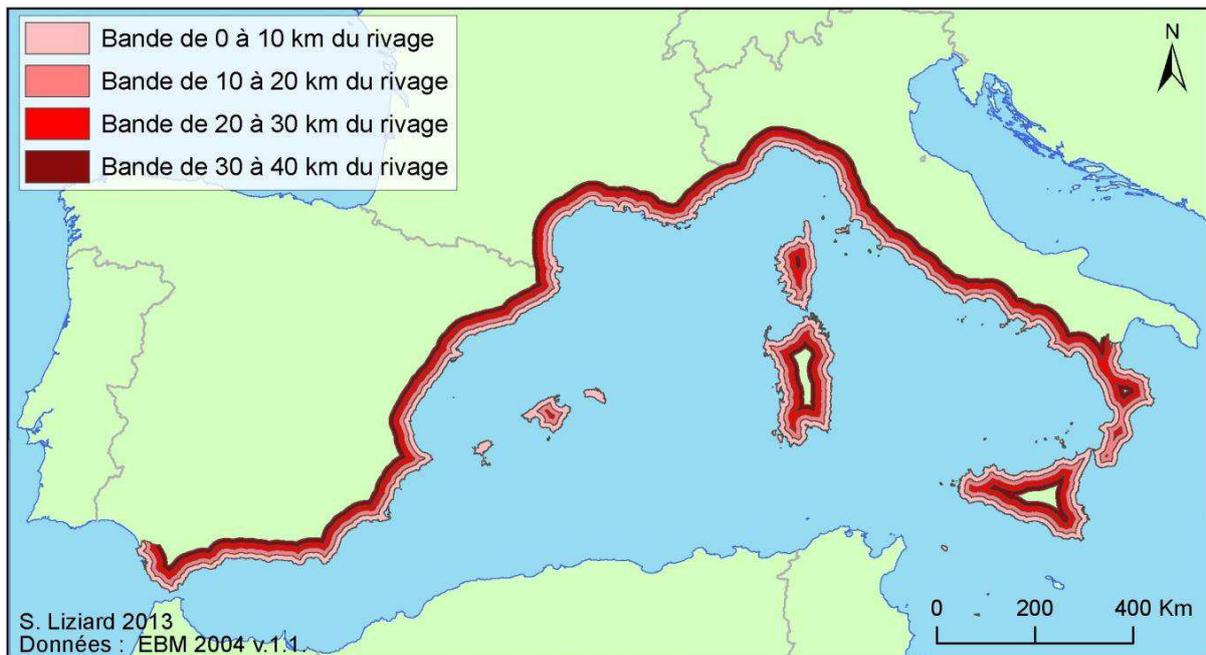


Figure III-5. Partition de l’aire d’étude en quatre bandes de 10 km de largeur parallèles au rivage

Nous choisissons d’employer cette approche sur le poids démographique relatif de chaque bande, c’est-à-dire la part de population présente dans chaque bande, par rapport au total des quatre bandes, pour chacune des six dates issues de l’harmonisation des recensements (cf. Chapitre II.2.2.1). L’utilisation de parts relatives de population facilite la comparaison entre les dates et les aires d’étude. Elle permet en outre de mettre en évidence des évolutions particulières entre les bandes. Par exemple, une diminution du poids démographique relatif d’une bande peut subvenir alors que sa densité augmente (si les autres bandes connaissent des dynamiques de croissance plus fortes). Pour mettre en lumière ce type d’évolution, la même approche sera ainsi appliquée sur les densités de population, ce qui permet de compléter cette information relative par une mesure du processus de littoralisation en valeur absolue. Du fait de la configuration des lieux et des périmètres administratifs, les quatre bandes au sein d’une aire d’étude ne sont pas toujours d’une superficie équivalente. En prenant en compte les surfaces sur lesquelles se répartissent les hommes, l’analyse par les densités permettra en outre de se prémunir des artefacts liés à des différences de surface.

Ainsi, les analyses des parts de population et des densités se complètent. La Figure III-6 représente par exemple les parts de population présente dans chaque bande pour l’ensemble de l’Arc Latin et leur évolution pour les six dates de recensement étudiées. Elle montre que la littoralisation était une réalité déjà bien marquée en 1960, avec une concentration de près de 60% de la population dans la bande allant de 0 à 10 km du rivage. Cette proportion a légèrement augmenté jusqu’à la décennie 1980 et se montre stable pour les trois dernières décennies. Alors que les parts de population des bandes 20-30 km et 30-40 km ont tendance à décroître tout au long de la période d’analyse, la bande allant de 10 à 20 km

présente une évolution particulière puisqu'elle croît très légèrement à partir de la décennie 1980. Il apparaît ainsi que la croissance littorale se soit élargie à cette deuxième bande.

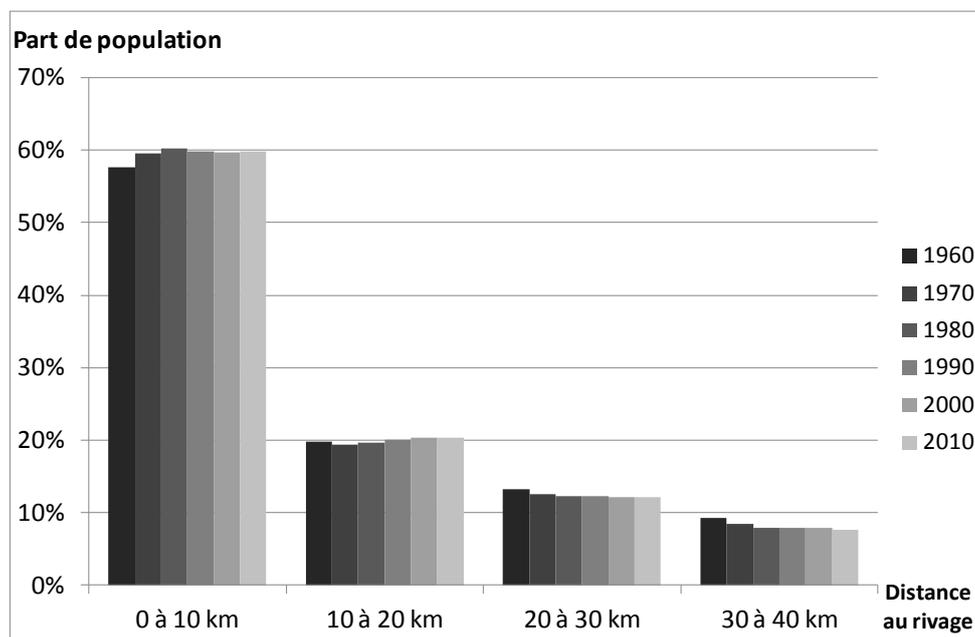


Figure III-6. Evolution de la part de population présente dans chaque bande pour l'Arc Latin

Le graphique des densités de population (Figure III-7) montre que la densité de population a néanmoins augmenté quelle que soit la distance au rivage. La densité est notamment passée de 274 à 417 hab./km² sur la bande 0-10 km et de 119 à 180 hab./km² sur la bande 10-20 km. Les deux graphiques montrent que la littoralisation s'est renforcée sur l'Arc Latin entre 1960 et 2008, avec néanmoins une intégration progressive de la bande 10-20 km à la dynamique littorale.

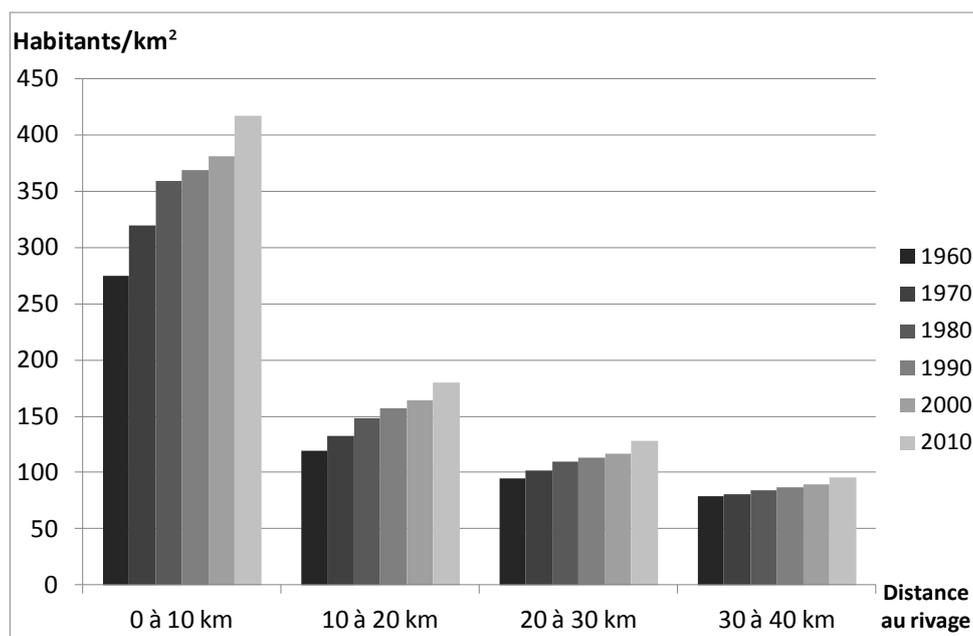


Figure III-7. Evolution des densités de population de l'Arc Latin selon la distance à la côte

Ce type d'analyse conditionnel à la distance au rivage permet de mettre en lumière le déploiement des dynamiques de littoralisation. L'analyse diachronique au sein des quatre bandes parallèles au rivage révèle l'évolution de la concentration de la population sur le littoral par rapport à l'intérieur des terres. Elle permet de mesurer l'intensité et de révéler les temporalités des processus de littoralisation. La comparaison des différentes aires d'étude sera effectuée par le regroupement des profils spatio-temporels de littoralisation similaires, mis en évidence par l'intermédiaire des graphiques.

1.2. Classification des profils d'évolution de la distribution de la population

1.2.1. Cinq types de profil spatio-temporel

Les processus de littoralisation sont analysés à travers les évolutions de la distribution de la population dans les quatre bandes parallèles au rivage pour les 39 zones d'étude. L'ensemble des graphiques des parts de population et des densités sont présentés en Annexe 1. À partir des graphiques représentant la proportion de population dans chacune des bandes et leur évolution, cinq types de profil ont été identifiés :

Profil 1 : Concentration de la population dans la bande 0-10 km

Le profil 1 rassemble les régions présentant un accroissement continu du poids de la bande littorale (0 à 10 km du rivage) et un déclin du poids des trois bandes intérieures (Figure III-8).

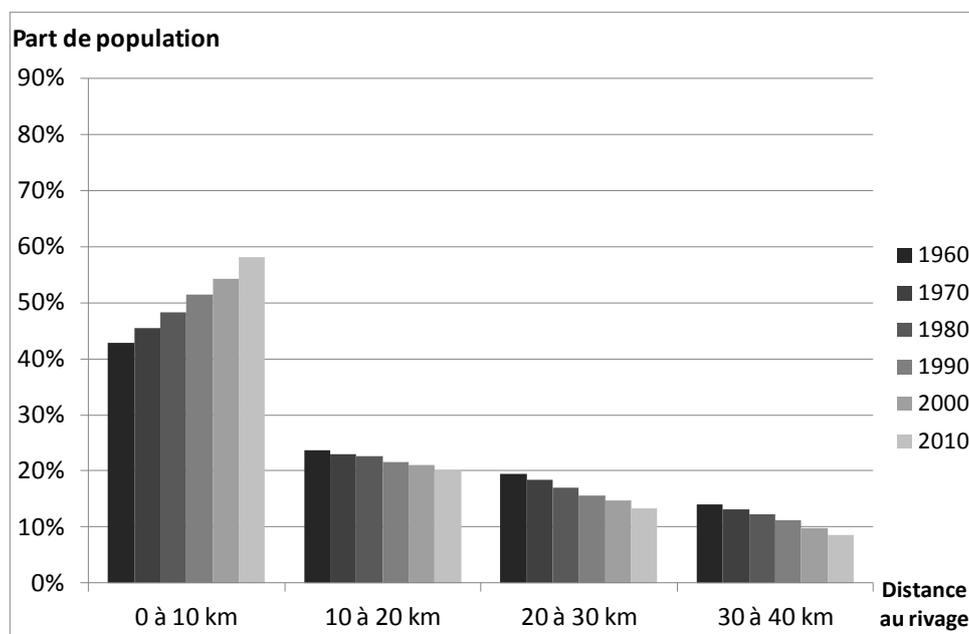


Figure III-8. Profil 1 (exemple : Alicante)

Profil 2 : Concentration dans la bande 0-10 km et début de déconcentration vers la bande 10-20 km

Le profil 2 concerne les régions partageant la même dynamique que le profil 1 dans les premières décennies, mais qui connaissent ensuite une diminution du poids du littoral concomitante à une augmentation des parts de population des bandes intérieures, particulièrement la bande 10-20 km. Cette évolution figure donc les prémices d'un processus de déconcentration, entendu comme l'élargissement de la zone de concentration de la population (Figure III-9).

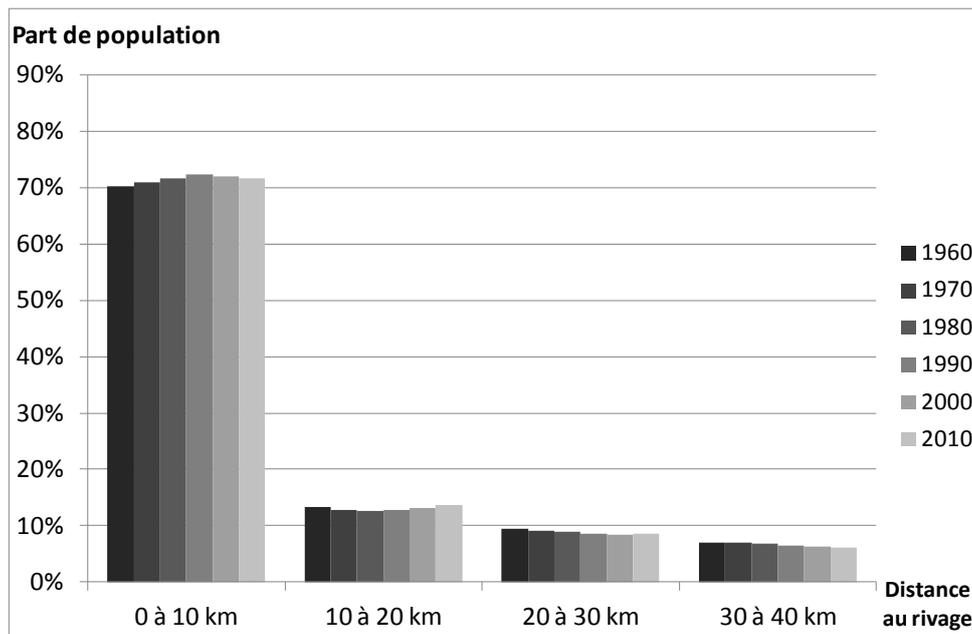


Figure III-9. Profil 2 (exemple : Cadix)

Profil 3 : Déconcentration vers l'intérieur des terres

Il s'agit des régions connaissant un déclin du poids de la bande littorale (de 0 à 10 km du rivage) et une augmentation du poids d'une ou plusieurs bandes intérieures, souvent la bande 10-20 km (Figure III-10).

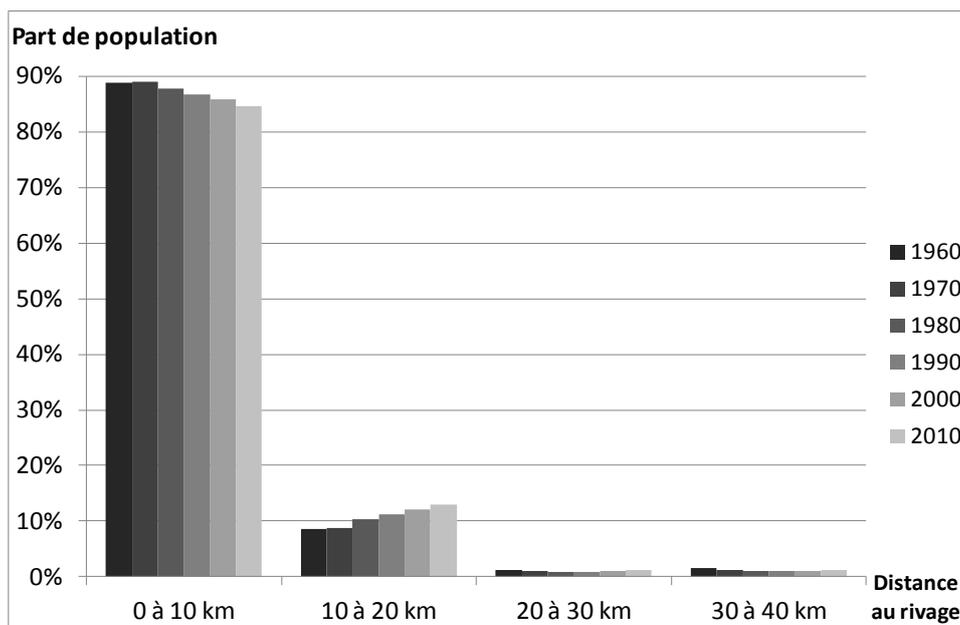


Figure III-10. Profil 3 (exemple : Alpes-Maritimes)

Profil 4 : Concentration dans les bandes 0-10 km et 10-20 km

Le profil 4 rassemble les régions présentant un accroissement continu du poids des bandes allant de 0 à 10 km et de 10 à 20 km, et une diminution du poids relatif des bandes 20-30 km et 30-40 km (Figure III-11).

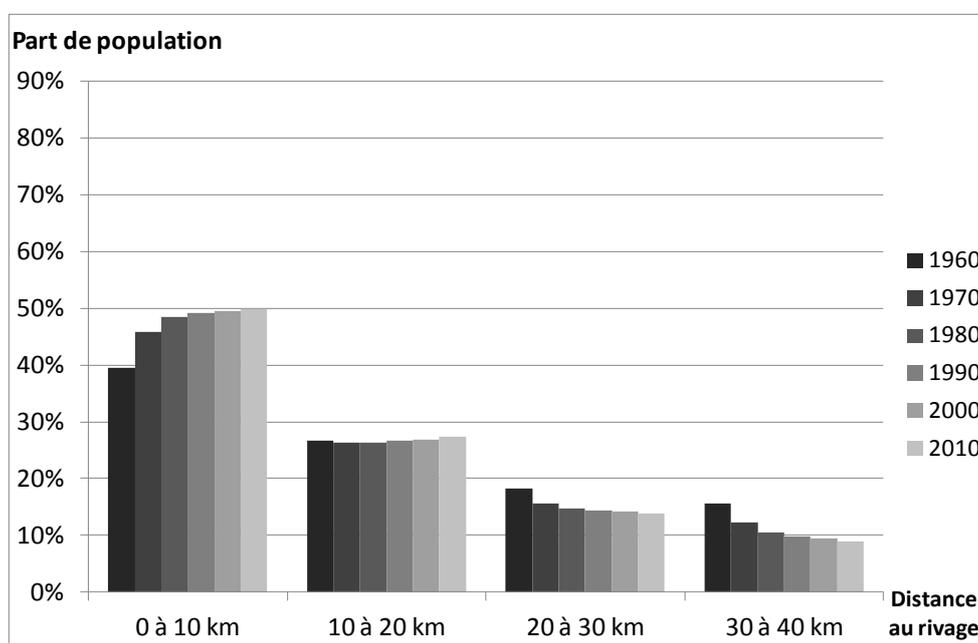


Figure III-11. Profil 4 (exemple : Grosseto)

Profil 5 : Part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km

Le profil 5 regroupe les régions ayant leur part maximale de population dans une autre bande que celle du rivage, souvent la bande 10-20 km mais parfois plus à l'intérieur des terres

(Figure III-12). Ce profil rassemble ainsi des distributions de population diverses, dont les évolutions sont elles aussi variées et parfois instables.

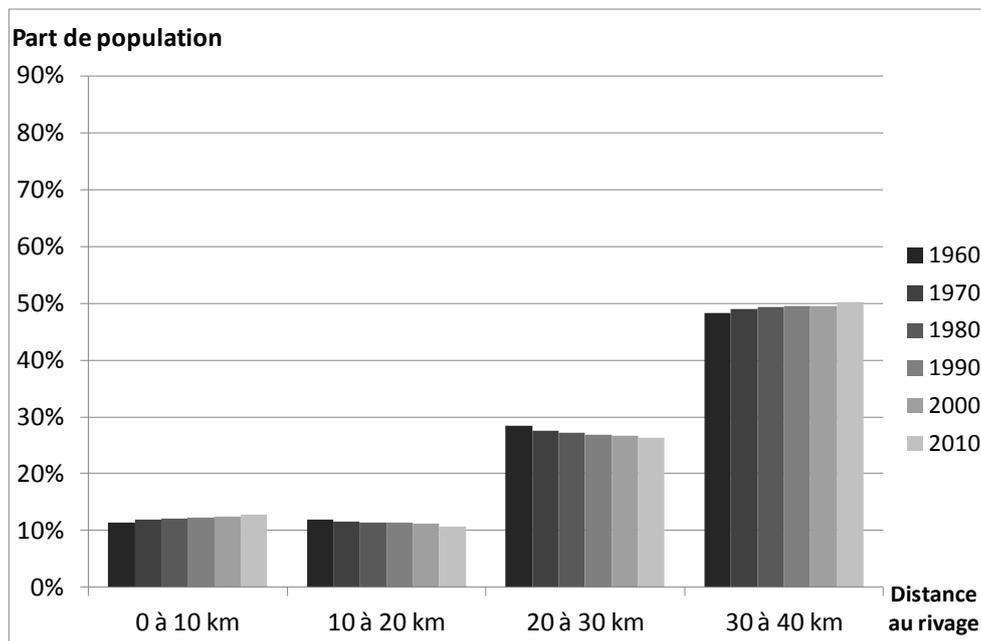


Figure III-12. Profil 5 (exemple : Viterbe)

1.2.2. Détails des cinq types de profil spatio-temporel de distribution de la population

Une analyse plus approfondie des différents profils est menée à partir de la Figure III-13, présentant l'appartenance des provinces et départements aux différents profils.



Profils :

- 1 - Concentration de la population dans la bande 0-10 km
- 2 - Concentration dans la bande 0-10 km et début de déconcentration vers la bande 10-20 km
- 3 - Déconcentration vers l'intérieur des terres
- 4 - Concentration dans les bandes 0-10 km et 10-20 km
- 5 - Part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km

Figure III-13. Les profils d'évolution de distribution de la population sur l'Arc Latin

Profil 1 :

Le profil 1, qui correspond au renforcement continu du poids de la bande 0-10 km par rapport aux trois bandes intérieures, rassemble 17 des 39 aires d'étude et notamment une grande partie des côtes espagnoles. Il reflète l'essor intense de leur tourisme balnéaire, avec des parts de population habitant la bande 0-10 km ayant connu une augmentation de 14 à 21 points entre 1960 et 2010 (Malaga, Almeria, Tarragone, Alicante, Castellón, Grenade). Ces provinces sont ainsi passées d'une situation de concentration littorale moyenne (autour de 50% de la population se situait sur la bande 0-10 km en 1960) à forte (proche de 70%). Les densités de population de la bande 0-10 km ont doublé ou même triplé en cinq décennies, expliquant leur forte progression de termes de part relative. Excepté Alicante, le poids relatif de la bande 0-10 km augmente de moins en moins pour ces provinces, comme on peut le voir sur la Figure III-14 représentant Malaga. Le graphique des densités montre en revanche que la croissance de la densité de la première bande a plutôt tendance à s'accélérer. Les bandes 20-30 km et 30-40 km cessent de perdre de la population, et la bande 10-20 km se densifie, ce qui explique le ralentissement de la croissance relative de la première bande.

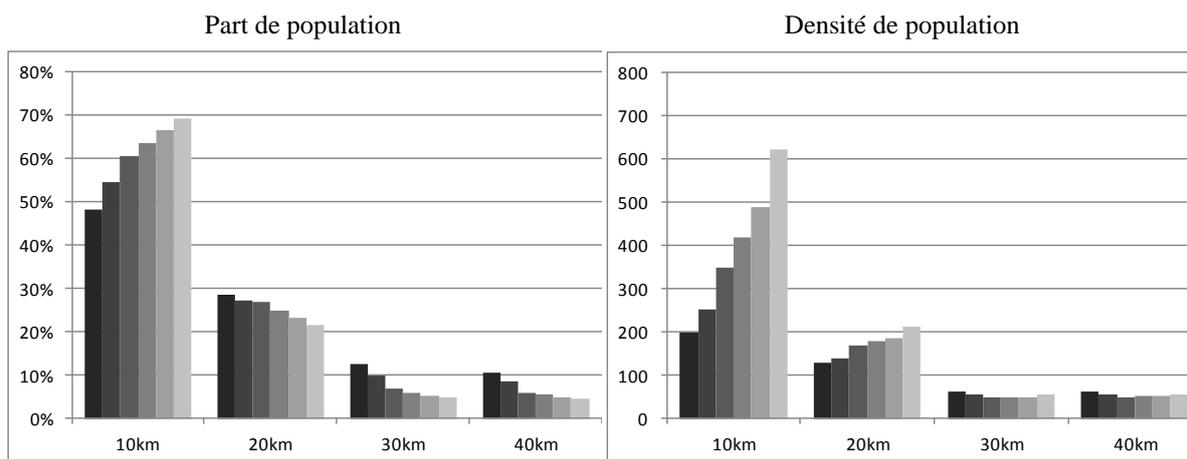


Figure III-14. Profil d'évolution de la distribution de la population de Malaga

Le profil 1 comprend un deuxième sous-ensemble de provinces caractérisées par une part moins élevée de population dans la bande 0-10 km en 1960 (entre 30 et 50 %) et une augmentation de celle-ci moins élevée également (4 à 13 points). Ces chiffres traduisent une littoralisation bien moins intensive de la province de Gérone et de plusieurs provinces italiennes : Cosenza et Crotona (Figure III-15) et une grande partie de la Sardaigne (Olbia-Tempio, Sassari, Oristano, Ogliastra et Nuoro). La tendance d'évolution est à la concentration littorale mais les densités de la première bande restent inférieures à 150 habitants par km², mis à part pour Gérone où elle atteint les 281 habitants par km² à la fin de la décennie 2000.

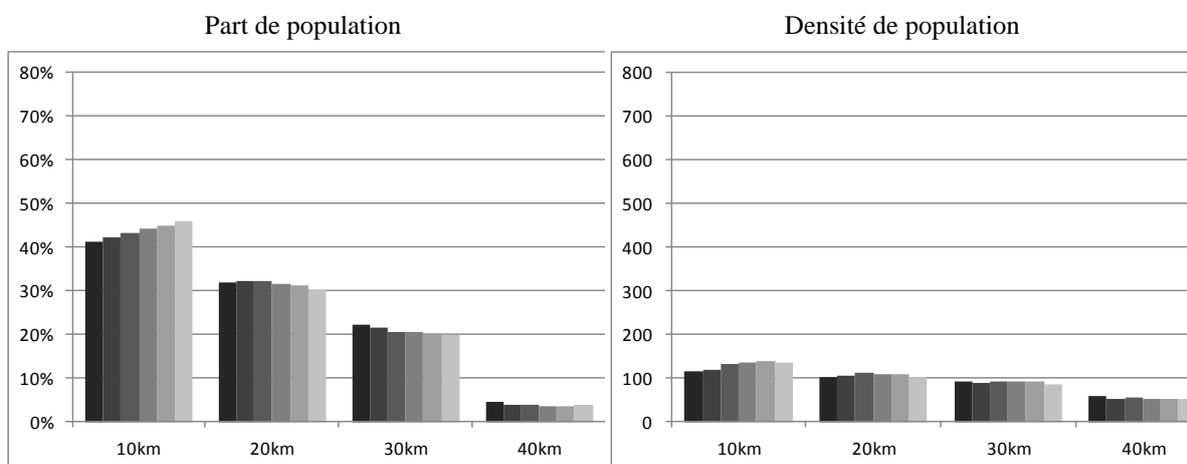


Figure III-15. Profil d'évolution de la distribution de la population de Cosenza et Crotona

La province de Lucques, qui se rattache à ce sous-ensemble par son profil similaire en termes de part de population, s'en distingue au niveau des densités de population (Figure III-16). En effet, la densité de la bande 0-10 km est bien plus élevée et différenciée de celle des bandes intérieures. Elle passe de 501 à 608 habitants par km² entre 1960 et 2010. Si le poids relatif des bandes apparaît comme relativement similaire, c'est à cause des différences de surface des quatre bandes : l'arrière-pays de la province de Lucques est bien plus étendu

que la zone littorale. En termes de densité, elle se rapproche d'avantage du troisième sous-ensemble de provinces du profil 1 qui va maintenant être présenté.

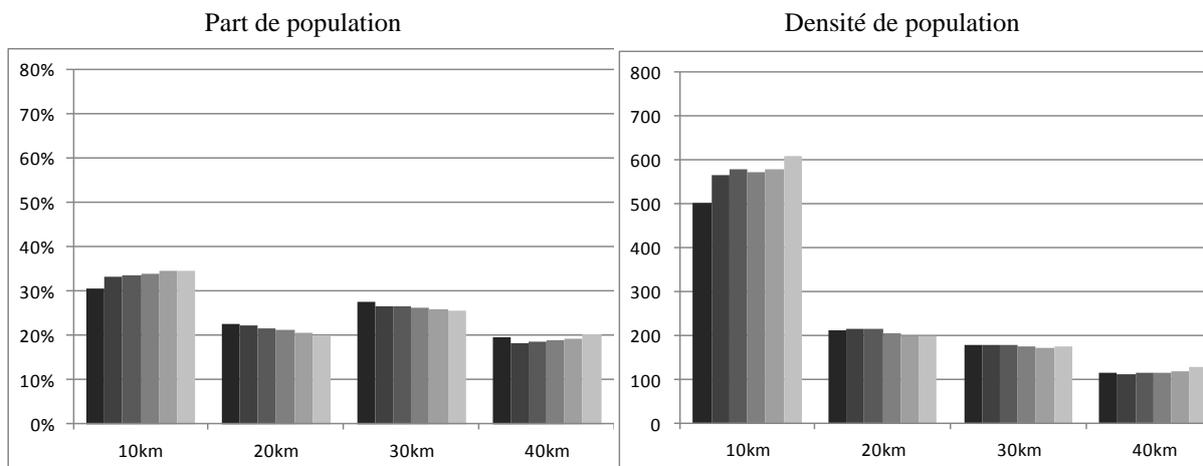


Figure III-16. Profil d'évolution de la distribution de la population de Lucques

Le profil 1 rassemble un troisième sous-ensemble de provinces espagnoles et italiennes ayant une concentration de population sur la bande 0-10 km déjà très forte en 1960 (entre 58 et 85%) et qui a néanmoins continué à s'accroître (+ 6 à 8 points entre 1960 et 2010). Sont ainsi concernés les Baléares, Imperia, Savone et l'ensemble composé de Caltanissetta, Agrigente, Palerme et Trapani (Figure III-17). Leur situation insulaire ou de plaine littorale extrêmement étroite explique cette concentration initiale de la population sur les premiers kilomètres du bord de mer et l'absence de report intérieur de la croissance démographique.

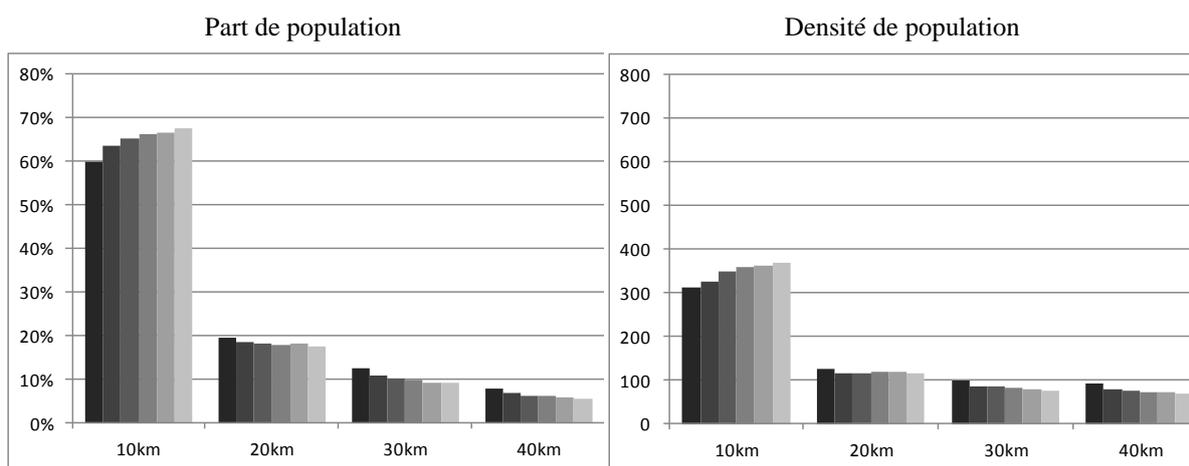


Figure III-17. Profil d'évolution de la distribution de la population de Caltanissetta, Agrigente, Palerme, et Trapani

L'analyse des densités montre des écarts importants entre la bande 0-10 km (supérieure à 300 hab. par km²) et les autres bandes. Cet écart est de moindre mesure dans le cas de la province des Baléares (Figure III-18). Son insularité est à l'origine de différences de

surface entre les bandes. La superficie de la première bande, importante par rapport aux deux bandes intérieures, aboutit à une concentration de 80 % de la population environ, alors qu'en termes de densités les écarts ne sont pas aussi marqués, même s'ils tendent à s'accroître. En densité, les Baléares se rapprochent donc davantage des provinces du deuxième sous-ensemble du profil 1.

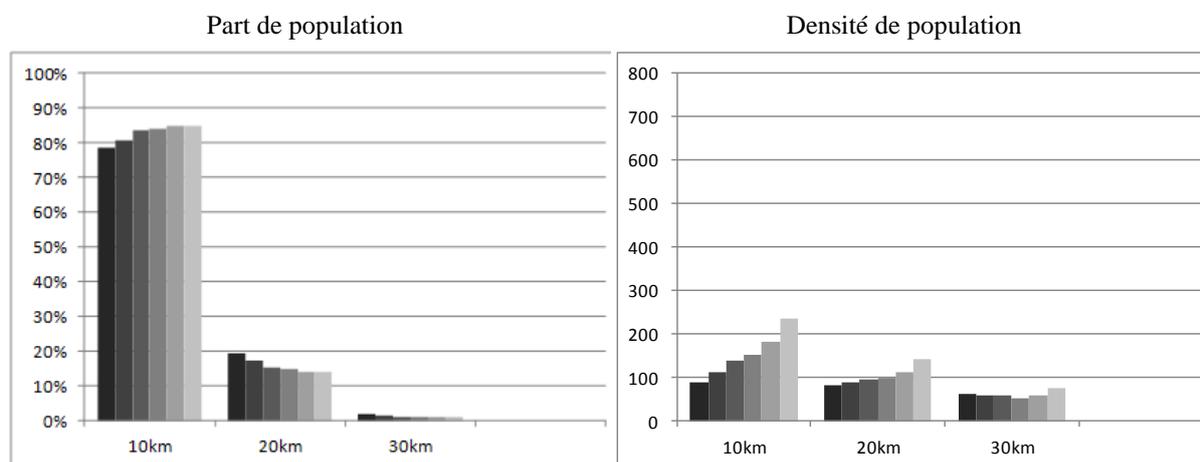


Figure III-18. Profil d'évolution de la distribution de la population des Baléares

Profil 2 :

Le profil 2, qui consiste en une concentration de la population dans la bande 0-10 km et en un début de déconcentration vers la bande 10-20 km, est bien moins répandu puisqu'il ne compte que cinq de nos périmètres d'étude. Sa particularité est de regrouper les provinces et départements méridionaux de chacun des trois pays : Cadix pour l'Espagne, la Corse pour la France, et le sud de la Sardaigne (l'ensemble Cagliari, Carbonia-Iglesias et Medio Campidano), la partie Est de la Sicile (l'ensemble Catane, Messine, Raguse et Syracuse) et la pointe de la botte (l'ensemble Catanzaro, Reggio de Calabre et Vibo Valentia) pour l'Italie. Le profil 2 rassemble ainsi des situations insulaires ou de confins. Leur littoralisation est ancienne, la part de population de la bande littorale étant supérieure à 60% en 1960, voire même supérieure à 70% (Corse et Cadix). Cette caractéristique est liée à la présence de villes portuaires importantes (Cadix, Cagliari, Messine) qui ont très tôt orienté la distribution de la population. Ces régions ont en outre un relief fortement contrasté à partir du bord de mer (système montagneux sardo-corse, Apennin méridional et son prolongement en Sicile). Les zones du profil 2 présentent au cours des cinq dernières décennies une croissance du poids démographique relatif de la bande 0-10 km puis, à partir des années 1990-2000, un début de redéploiement vers la bande de 10 à 20 km. Les zones concernées ont des densités de population relativement élevées sur la bande 0-10 km lors du renversement de tendance (supérieure à 350 hab./km² pour Cadix et la partie Est de la Sicile) qui ont pu favoriser une progression de la dynamique de peuplement vers l'intérieur des terres dans les dernières décennies. Le début de redéploiement vers la bande 10-20 km peut correspondre à un arrêt de

la baisse de son poids démographique relatif (Figure III-19) ou à sa très légère augmentation sur les toutes dernières décennies (Figure III-9).

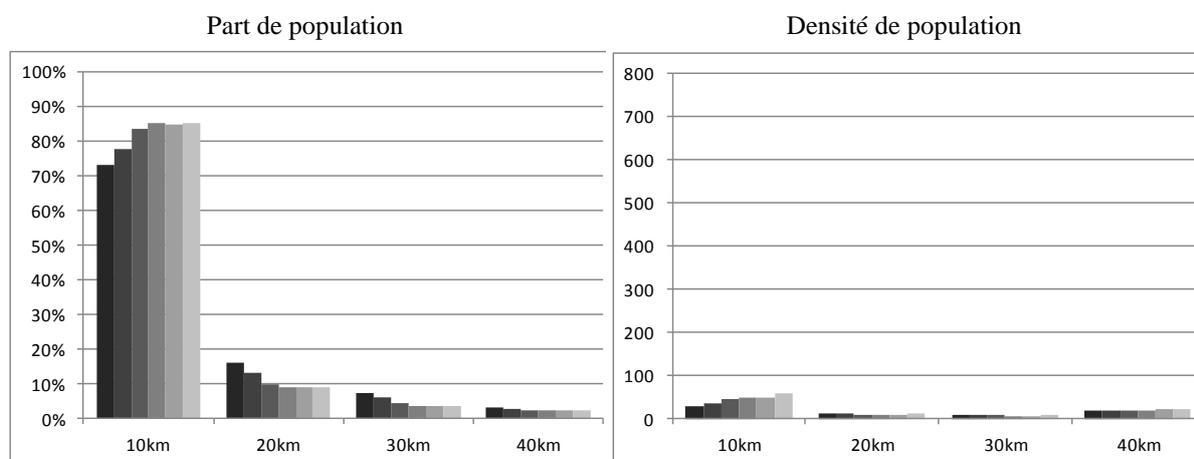


Figure III-19. Profil d'évolution de la distribution de la population de Corse du Sud et Haute Corse

Profil 3 :

Alors que ce mouvement de report est récent et de faible ampleur dans le profil 2, il est caractéristique du profil 3. Ce profil correspond à une déconcentration de la bande 0-10 km, généralement en faveur de la bande 10-20 km, mais également au bénéfice des autres bandes plus à l'intérieur des terres. Il regroupe les provinces de Valence, Barcelone, les Bouches-du-Rhône, le Var, les Alpes-Maritimes, Gênes, l'ensemble Livourne et Pise et l'ensemble Caserte et Naples. Il rassemble ainsi de grandes métropoles littorales de l'Arc Latin (Valence, Barcelone, Marseille, Nice, Gênes, Naples). Correspondant aux dynamiques de littoralisation les plus avancées, les huit zones du profil 3 sont celles qui présentaient en 1960 les taux les plus élevés de concentration de la population sur la bande littorale : entre 60 et 89 % de la population totale (Figure III-10). Malgré la diminution progressive du poids relatif de la bande 0-10 km, celui-ci reste élevé en 2010 (entre 59 et 84 %). Des densités extrêmement fortes (entre 593 et 1792 hab./km² en 1960) expliquent ce glissement vers les bandes de l'intérieur des terres, sauf pour le Var (Figure III-20) et l'ensemble Livourne et Pise où elles se situent autour de 300 habitants par km².

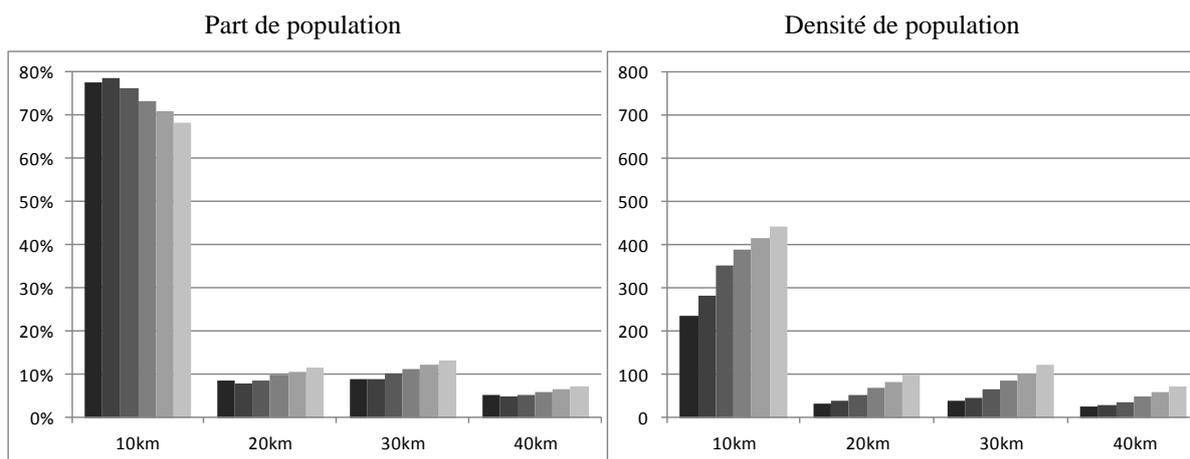


Figure III-20. Profil d'évolution de la distribution de la population du Var

Cette « déconcentration » en direction de l'arrière-pays n'est que relative, puisque les fortes densités ont continué à progresser sur la bande 0-10 km (passant de 834 à 1390 hab./km² pour les Alpes-Maritimes et de 778 à 1452 hab./km² pour Valence entre 1960 et 2010) ou ont recommencé à progresser après une période de légère diminution dans les années 1980 (province de Barcelone et les Bouches-du-Rhône). Ces bandes côtières sont ainsi restées attractives, sauf pour Gênes qui constitue un cas particulier en raison des conséquences de la crise portuaire, et dans une moindre mesure, pour l'ensemble constitué des provinces de Caserte et Naples. La densité de la première bande connaît une importante chute pour la province de Gênes (Figure III-21), tandis qu'elle stagne pour l'ensemble Caserte et Naples.

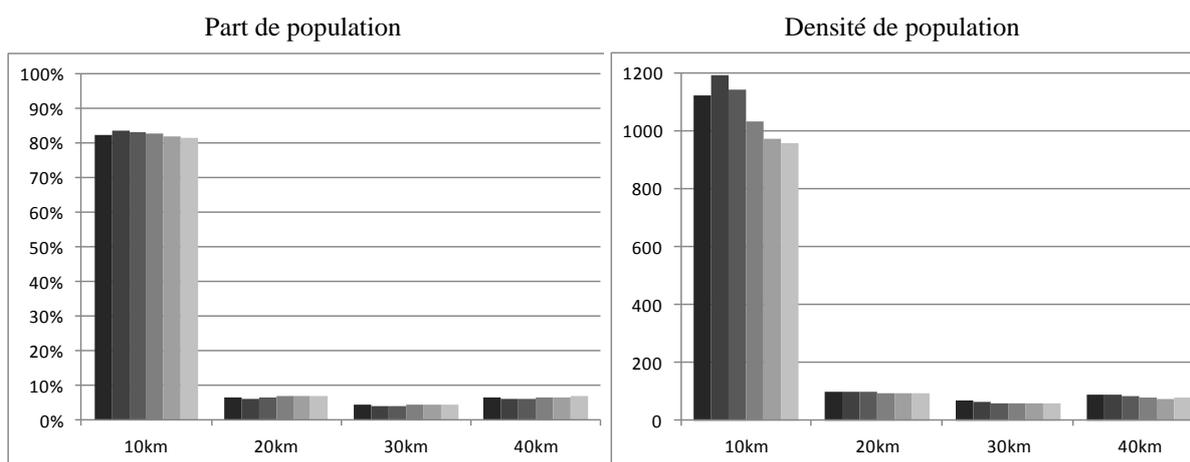


Figure III-21. Profil d'évolution de la distribution de la population de Gênes

Profil 4 :

Ce profil concerne quatre de nos aires d'étude : la province de Murcie et des provinces italiennes continentales (l'ensemble La Spezia et Massa-Carrara, la province de Grosseto et l'ensemble Potenza et Salerne). Les bandes 0-10 km et 10-20 km présentent toutes

les deux une évolution positive en termes de part de population présente, même si elle est plus faible dans le cas de la deuxième bande. Le processus de littoralisation engage ainsi une zone plus large. Dans le cas de Grosseto, les densités demeurent faibles dans les quatre bandes (inférieures à 100 hab./km²), mais pour les autres aires d'étude les densités et leurs différentiels sont forts. Le cas de l'ensemble La Spezia et Massa-Carrara (Figure III-22) est particulier puisque c'est la légère baisse de densité de la première bande qui est à l'origine de l'augmentation du poids relatif de la deuxième bande (sa densité est stable). Plusieurs motifs viennent expliquer cette distribution de la population favorable aux deux premières bandes : la présence de massifs et de grands parcs naturels le long de la côte, un développement urbain suivant des fonds de vallées orientées vers l'intérieur des terres, une plaine littorale large, ou encore un chef-lieu situé dans la bande 10-20 km.

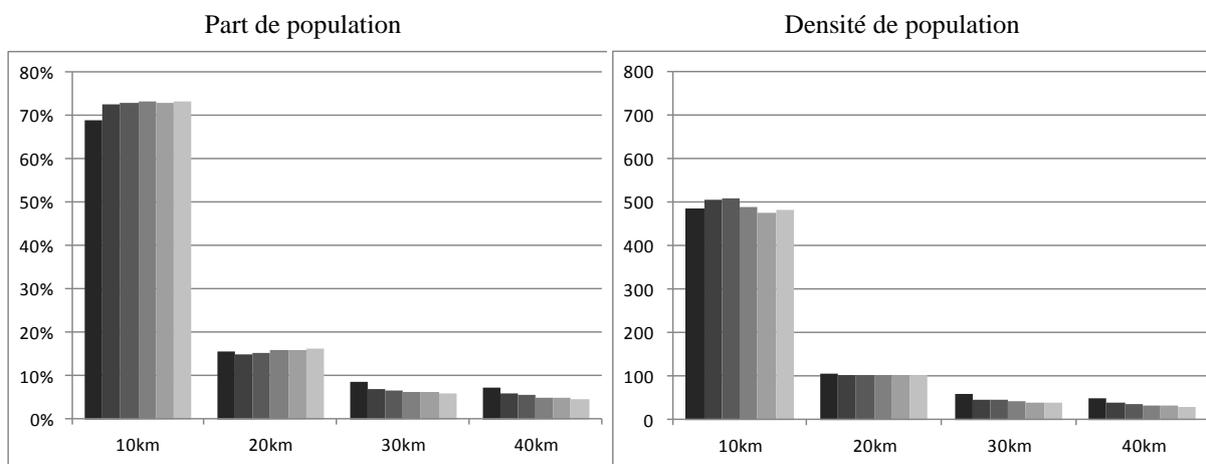


Figure III-22. Profil d'évolution de la distribution de la population de La Spezia et Massa-Carrara

Profil 5 :

Sur l'ensemble des aires d'étude, les cinq zones appartenant au profil 5 présentent les plus faibles parts de population de la bande 0-10 km en 1960 (entre 11 et 34 % des populations totales). Il s'agit de la partie occidentale de la façade méditerranéenne française (Pyrénées-Orientales, Aude, et l'ensemble Gard et Hérault) et du Latium (Viterbe et l'ensemble Latina et Rome). Leur part maximale de population n'est pas située au niveau de la bande 0-10 km. Les provinces et départements du profil 5 possèdent des pôles urbains importants à l'intérieur des terres, qui correspondent aux bandes ayant les plus fortes parts de population : Narbonne, Béziers, Montpellier et Nîmes pour l'Ouest français et les chefs-lieux éponymes pour les provinces de Viterbe, Latina et Rome. Ainsi, la bande qui rassemble la plus importante part de population est la bande 10-20 km, sauf dans le cas de la province de Viterbe où il s'agit de la bande 30-40 km. Il s'agit de régions peu contraintes par des reliefs : le Languedoc-Roussillon et le Latium où l'Apennin central décline bien plus faiblement vers la mer Tyrrhénienne. Dans toutes les zones du profil 5, la part de population présente sur les bandes 0-10 km augmente entre 1960 et 2010, mais faiblement (1 à 7 points). Pour les zones

ayant leur part maximale de population sur la bande 10-20 km, la part de population de cette deuxième bande diminue au bénéfice de la bande 0-10 km, mais la densité y augmente néanmoins. La bande 0-10 km rattrape progressivement la densité de la bande 10-20 km (Figure III-23).

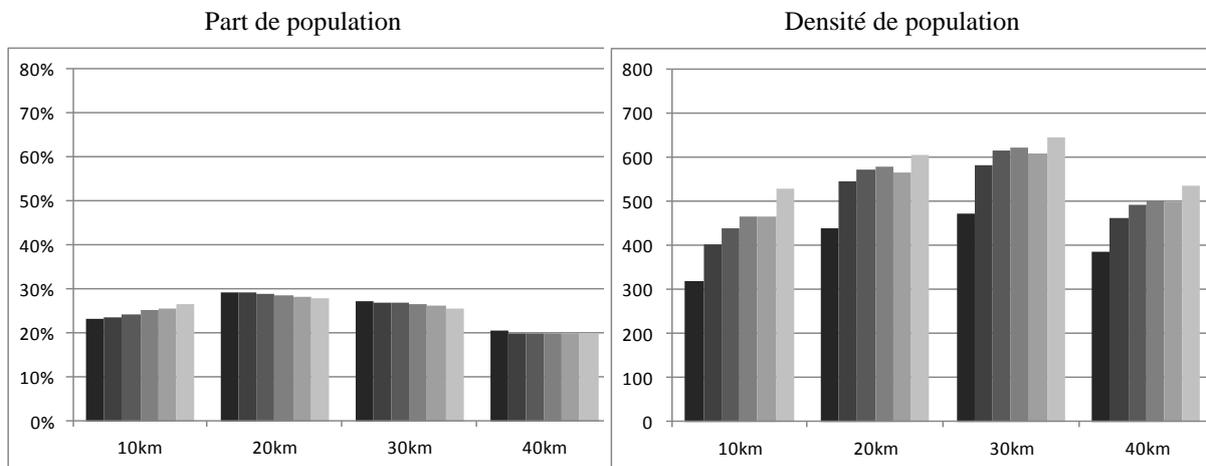


Figure III-23. Profil d'évolution de la distribution de la population de Latina et Rome

Conclusion

Cette analyse de la distribution de la population en fonction de la distance au rivage permet de caractériser pour chaque zone d'étude l'avancée des dynamiques de littoralisation (phase de développement littoral), conjointement à son intensité (différentiel entre littoral et l'intérieur des terres et son évolution). Ces profils spatio-temporels mettent en évidence une grande continuité dans la logique d'évolution des littoraux de l'Arc Latin. Les profils 1 à 3 correspondent à des taux élevés de concentration littorale et retracent bien le schéma d'évolution des dynamiques de littoralisation : concentration littorale et déclin intérieur (profil 1), puis un renversement (profil 2) et un glissement de la dynamique littorale en faveur du proche arrière-pays (profil 3). Trente des trente-neuf zones d'étude correspondent ainsi parfaitement au modèle d'évolution de la littoralisation. La littoralisation est moins marquée pour les quatre aires d'étude appartenant au profil 4 : la zone initiale de concentration littorale y est plus large, engageant la bande 10-20 km en même temps que la bande 0-10 km. Les dix zones appartenant profil 5 sont celles qui ont le moins été sujettes au processus de littoralisation. Cependant, même pour les profils 4 et 5 où la littoralisation marque le moins la répartition de la population, la bande 0-10 km présente une évolution positive, tant au niveau de la densité qu'en part de population présente par rapport au total de la population de l'aire

d'étude. Le regroupement des provinces et départements dans des profils et leur cartographie ont permis d'apporter des éléments explicatifs en comparant leurs spécificités locales (situation sur l'Arc Latin, densité de population, relief, périmètres protégés, etc.).

2. Analyse des configurations spatiales des dynamiques de peuplement à l'échelle des communes

Afin de révéler les structures spatiales des dynamiques de peuplement de l'Arc Latin, nous avons choisi d'utiliser une mesure de l'autocorrélation spatiale locale, les Indicateurs locaux d'association spatiale (LISA) (cf. Chapitre II.2.2.2). Nous présentons dans cette section cette méthode et les choix associés à son application pour l'analyse des dynamiques de littoralisation.

2.1. Révéler des structures spatiales homogènes par les Indicateurs Locaux d'Association Spatiale (LISA)

2.1.1. Le choix de l'indice de Moran local

La première méthode permet d'analyser spécifiquement le processus de littoralisation et plus particulièrement les grandes dynamiques de concentration de population en fonction de la distance au trait de côte. Toutefois, les données communales sont agrégées en quatre bandes parallèles au rivage de 10 km de largeur. Une autre approche est adoptée pour l'analyse exploratoire des structures spatiales des dynamiques de peuplement, tout en gardant le niveau de détail de l'échelle communale. Il s'agit d'identifier les configurations spatiales locales, c'est-à-dire des zones homogènes en termes de forte dynamique de population, et leurs évolutions. Les LISA permettent de révéler ces structures en mesurant la ressemblance des unités spatiales avec leur voisinage. Afin de se soustraire de l'inertie liée au poids du peuplement des périodes antérieures, ce sont les taux de variation de la population qui sont étudiés dans cette seconde approche, à travers les taux de croissance annuels moyens (TCAM) des communes, pour chacune des cinq périodes. Plutôt que les taux de croissance, ce sont en effet les taux de croissance annuels moyens pour chaque décennie qui seront pris en compte à cause des différences nationales de dates de recensement (cf. Chapitre II.2.2.1).

L'autocorrélation spatiale correspond à l'existence d'une relation entre la ressemblance et la proximité des espaces. Elle repose sur le principe de dépendance spatiale selon lequel « *Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things* »⁴³ (Tobler 1970). Elle traduit ainsi l'existence de structures à travers l'espace. Des indicateurs statistiques d'autocorrélation spatiale renseignent sur l'existence et la force de cette corrélation entre unités spatiales voisines en fournissant une mesure globale pour un

⁴³ Tout interagit avec tout, mais deux objets proches ont plus de chance de le faire que deux objets éloignés.

espace d'étude (Moran 1950, Geary 1954). L'autocorrélation spatiale est positive quand les lieux proches ont des valeurs plus ressemblantes que les lieux éloignés, négative quand les lieux proches ont des valeurs plus dissemblables que les lieux éloignés, et nulle en cas d'absence de relation statistiquement significative. La généralisation des tests d'autocorrélation spatiale en espace continu (à la place d'une fonction binaire de contiguïté) permet de mesurer, au moyen de corrélogrammes, l'échelle à laquelle s'organise la dépendance spatiale (Zaninetti 2005). Cependant, les indicateurs d'autocorrélation spatiale ne renseignent pas sur les variations de cette relation au sein de l'espace d'étude et sur les configurations spatiales qui en résultent. Des sous-espaces peuvent en effet être localement en contradiction avec la valeur de l'autocorrélation spatiale. Selon J.-M. Zaninetti (2005), « le perfectionnement des méthodes d'analyse de l'autocorrélation spatiale a conduit à décomposer les indices existants en leurs composantes locales (local indicators of spatial association, LISA) ». Ces mesures d'association spatiale sont spécifiques à chacune des unités spatiales pour un certain voisinage, qui est défini par l'utilisateur. Elles repèrent « des agrégats de valeurs associées localement (*clusters*), des singularités locales (*outliers*) et des configurations spatiales locales (*local patterns*) que la non-stationnarité spatiale peut camoufler dans une analyse globale » (Zaninetti 2005). Différents LISA sont issus des indicateurs globaux d'autocorrélation spatiale de référence. Selon J.-M. Zaninetti (2005), les indices locaux de Getis et Ord servent à identifier des agrégats et des lacunes dans un jeu de données, tandis que les indices locaux de Moran et de Geary permettent d'identifier des sous-ensembles homogènes et des zones atypiques, ce qui convient mieux à notre objectif de régionalisation.

À partir de l'indice I de Moran, exprimant le rapport entre la covariance des lieux au sein d'un certain voisinage et la variance globale du caractère étudié, L. Anselin (1995) propose la formule du I local de Moran, noté I_i , qui caractérise la part de chaque individu dans la mesure globale :

$$I = \frac{N}{M} \frac{\sum_i \sum_{i \neq j} W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}$$

$$I_i = \frac{\sum_{i \neq j} W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_i (X_i - \bar{X})^2}$$

Soit X la variable observée, N le nombre d'unités spatiales, M le nombre de paires de voisins et W_{ij} la pondération spatiale, caractérisant les relations de voisinage des unités spatiales prises deux à deux.

Nous choisissons d'employer l'indice local de Moran qui présente dans notre contexte plusieurs avantages par rapport à l'indice de Geary :

- il permet d'identifier des points chauds et des points froids, c'est-à-dire qu'il distingue les zones homogènes selon leur type de valeurs (élevées ou basses), alors que ce n'est pas le cas pour l'indice de Geary ;
- il est sensible à l'autocorrélation spatiale des valeurs relativement élevées, ce qui est un atout pour la recherche des zones de concentration de population, alors que l'indice de Geary est principalement sensible à l'amplitude des écarts entre communes proches ;
- ses valeurs sont comprises entre -1 et 1 ; alors que l'indice local de Geary n'est pas borné à 1, contrairement à l'indice global.

Selon J.-M. Zaninetti (2005), l'indice local de Moran serait en outre généralement plus robuste et intuitif.

Chaque unité spatiale est définie par une valeur du I local de Moran, effectivement comprise entre -1 (association spatiale négative) et 1 (association spatiale positive), les valeurs proches de zéro correspondant à une absence d'association avec le voisinage. La cartographie de ces coefficients locaux pour un certain seuil de significativité (ici 5%) conduit à la mise en évidence de structures spatiales différenciées au sein de l'aire d'étude. Les LISA permettent de caractériser différentes situations locales d'association spatiale. Les *clusters* correspondent à des regroupements d'unités spatiales caractérisées par des valeurs élevées (nommés *high-high clusters*) ou faibles (*low-low clusters*). Les *outliers* correspondent à des unités spatiales ayant une valeur élevée par rapport à celles de leur voisinage (*high-low outlier*) ou inversement (*low-high outlier*). Comme cela a déjà été mentionné (cf. Chapitre II.2.2.2), l'objectif n'est pas de tester l'intensité de la dépendance spatiale au niveau local mais de repérer les structures qui y sont associées. Afin de mettre en évidence les configurations spatiales des dynamiques de peuplement, les LISA sont calculés sur les taux de croissance démographique annuels moyens. Nous faisons l'hypothèse que les regroupements de type « *high-high* », c'est-à-dire les groupes continus de communes ayant une forte dynamique, constituent un marqueur significatif du processus de littoralisation. Analyser l'évolution des regroupements *high-high* est susceptible de mettre en évidence les phénomènes de concentration/diffusion de la population et les processus d'homogénéisation/différenciation des dynamiques de peuplement.

2.1.2. Paramétrage du calcul des LISA

Les LISA permettent de révéler les structures spatiales de manière rigoureuse, reproductible et comparable pour les différents espaces et aux différentes périodes. Afin de respecter les conditions de comparaison des LISA et la nature spatiale de cette analyse statistique, quelques précautions ont été nécessaires pour leur calcul :

- Les LISA sont calculés pour chacune des 39 aires d'étude de manière à faire ressortir leurs structures spatiales propres. En effet, les LISA rapportent les écarts locaux à la moyenne générale de l'aire d'étude. Un calcul unique sur l'Arc Latin pris dans sa globalité ferait uniquement ressortir les situations les plus extrêmes sans renseigner sur les structures spatiales des provinces et départements ayant un profil moyen de croissance de population.

- Les relations de voisinage entre communes sont spécifiées dans des matrices de pondération spatiale W qui renseignent sur la présence ou l'absence de voisinage pour toutes les communes prises deux à deux. Les matrices de voisinage et les calculs des LISA sont faits à l'aide du logiciel GeoDa 1.0.1, freeware spécialisé dans l'analyse des données spatiales conçu par L. Anselin (2005). Les matrices de voisinage ont été standardisées en ligne pour que chaque commune ait le même poids, quel que soit le nombre de ses voisins.

- Le même critère de voisinage est appliqué pour toutes les aires d'étude, afin de comparer les structures observées. À partir du centroïde de chaque commune, le voisinage est constitué des communes dont le centroïde est situé jusqu'à 20 km. Ce critère de voisinage a été choisi car il identifie des zones homogènes (*clusters*) à une échelle infrarégionale, tout en limitant les communes en situation d'isolat (c'est-à-dire sans voisin) aux îles lointaines.

- En outre, pour éviter les effets de bord liés aux découpages administratifs, les communes situées dans une zone de 20 km sur les provinces ou départements littoraux voisins sont intégrées dans le calcul des LISA.

- D'autre part, le calcul des LISA portant sur des taux basés sur des populations communales de différentes tailles, la procédure de standardisation des taux par la méthode bayésienne empirique (*Empirical Bayes rates standardization*) est appliquée. Les petits effectifs soulèvent en effet un problème d'instabilité de la variance des taux, celle-ci étant inversement liée à la taille de la population. Cette procédure pondère les taux forts résultant de valeurs faibles en standardisant les taux bruts. Le logiciel GeoDa donne la possibilité d'implémenter la procédure de standardisation des taux suggérée par R. Assunção et E.A. Reis (1999).

- Enfin, lors de la cartographie des résultats, seules les valeurs des I locaux de Moran significativement différentes de zéro sont représentées (le seuil est fixé à 5%).

2.1.3. Définition de la nomenclature des configurations spatiales des dynamiques de peuplement

La cartographie des résultats dévoile une grande diversité des configurations spatiales prises par les dynamiques de peuplement et de leurs évolutions temporelles. L'analyse de séquences nécessite de définir une nomenclature des différents états possibles. Cette tâche a nécessité un important travail d'observation croisée des différentes cartes et périodes d'analyse. Plusieurs essais ont été nécessaires avant de construire une nomenclature décrivant les diverses configurations spatiales existantes et leurs évolutions de façon pertinente. Nous avons choisi de nous concentrer sur la localisation, la forme et la taille des regroupements de communes ayant de fortes dynamiques de peuplement (*high-high cluster*) pour élaborer la nomenclature. Ces regroupements *high-high* présentent neuf grandes configurations spatiales (Figure III-24) :

a- les petits pôles littoraux : il s'agit d'une à quelques communes occupant moins de 30 km le long du rivage et moins de 15 km vers l'intérieur des terres.

b- les franges littorales : un groupe de communes qui s'étendent sur le littoral sur plus d'une trentaine de kilomètres et sur moins de 15 km vers l'intérieur des terres.

c- les zones rétro-littorales : un petit groupe de communes situées en arrière du front de mer, généralement entre 5 et 15 km à l'intérieur des terres.

d- les aires littorales : elles rassemblent des communes sur moins de 30 km le long du littoral et dépassent les 15 km à l'intérieur des terres.

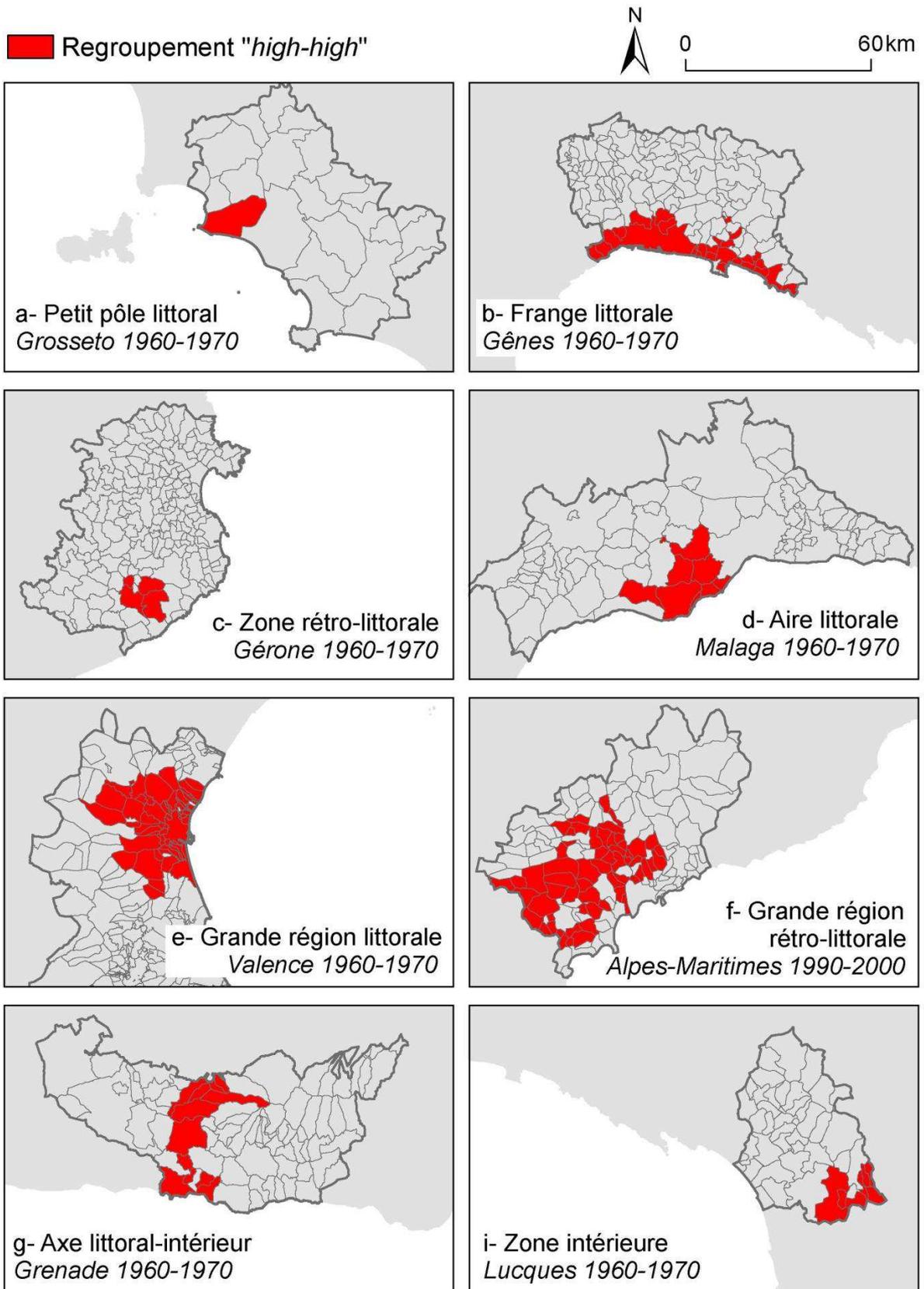
e- les grandes régions littorales : un groupe rassemblant de nombreuses communes sur plus de 30 km le long du littoral et plus de 15 km à l'intérieur des terres. Les grandes régions littorales atteignent parfois la limite intérieure des 40 km.

f- les grandes régions rétro-littorales : semblables aux régions littorales, elles n'intègrent cependant pas les communes situées en front de mer.

g- les axes littoral-intérieur : ils relient le littoral à la limite intérieure des 40 km, sur une largeur inférieure à 20 km. L'axe n'est parfois pas complètement continu.

h- l'absence de regroupement *high-high* : elle reflète une grande hétérogénéité locale, et ainsi une homogénéité globale au sein de l'aire d'étude.

i- les zones intérieures : il s'agit de regroupements « *high-high* » situés à l'intérieur des terres uniquement, quelle que soit leur étendue.



S. Lizard

Données : EBM 2004 v.1.1. Recensements INE, INSEE, ISTAT

Figure III-24. Exemples illustrant chacune des neuf grandes configurations spatiales des dynamiques de peuplement (à partir du calcul des LISA)

Les seuils n'ont pas été définis a priori mais résultent de l'observation des cartes. À cela on ajoute, pour les six premières configurations, leurs équivalents en situation de mouvement latéral par rapport à la période précédente. La Figure III-25 et la Figure III-26 présentent un exemple de chacune des six configurations en déplacement latéral (à droite sur les figures) par rapport à la période précédente (figurant à gauche). Ce déplacement le long de la côte est associé à une déprise du noyau initial de la zone *high-high*. La nouvelle zone *high-high* n'est pas forcément en continuité de la précédente (Figure III-25), même si c'est souvent le cas (Figure III-26). Ces six configurations spatiales additionnelles sont désignées par les abréviations « a-lat », « b-lat », « c-lat », « d-lat », « e-lat » et « f-lat » (la première particule fait référence aux configurations associées et la seconde particule au mouvement latéral qui les en distingue). Ces configurations latérales ne pourront pas être observées pour la première décennie mais pourront caractériser les dynamiques des décennies suivantes.

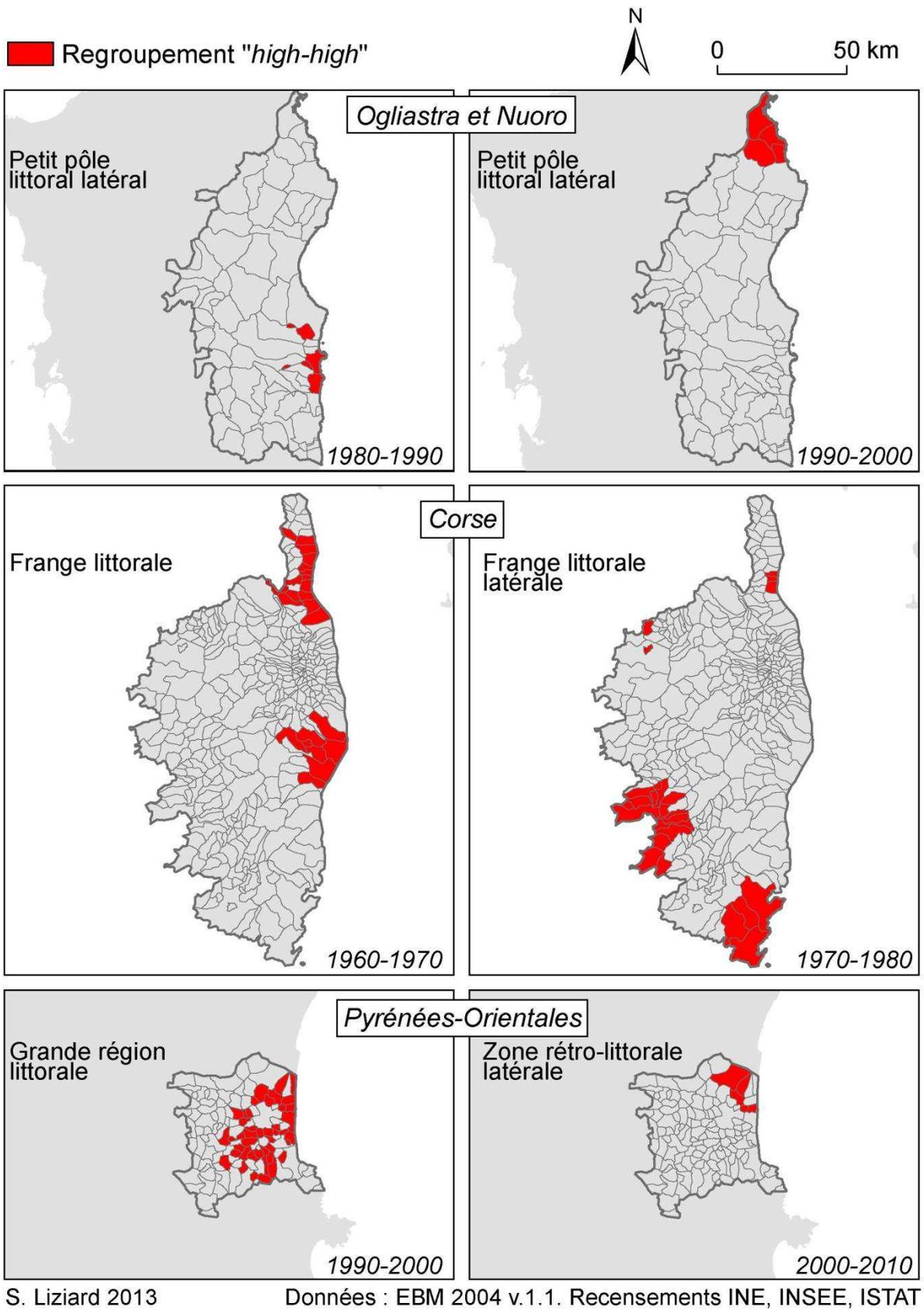


Figure III-25. Exemples de petit pôle littoral latéral (a-lat), de frange littorale latérale (b-lat) et de zone rétro-littorale latérale (c-lat)

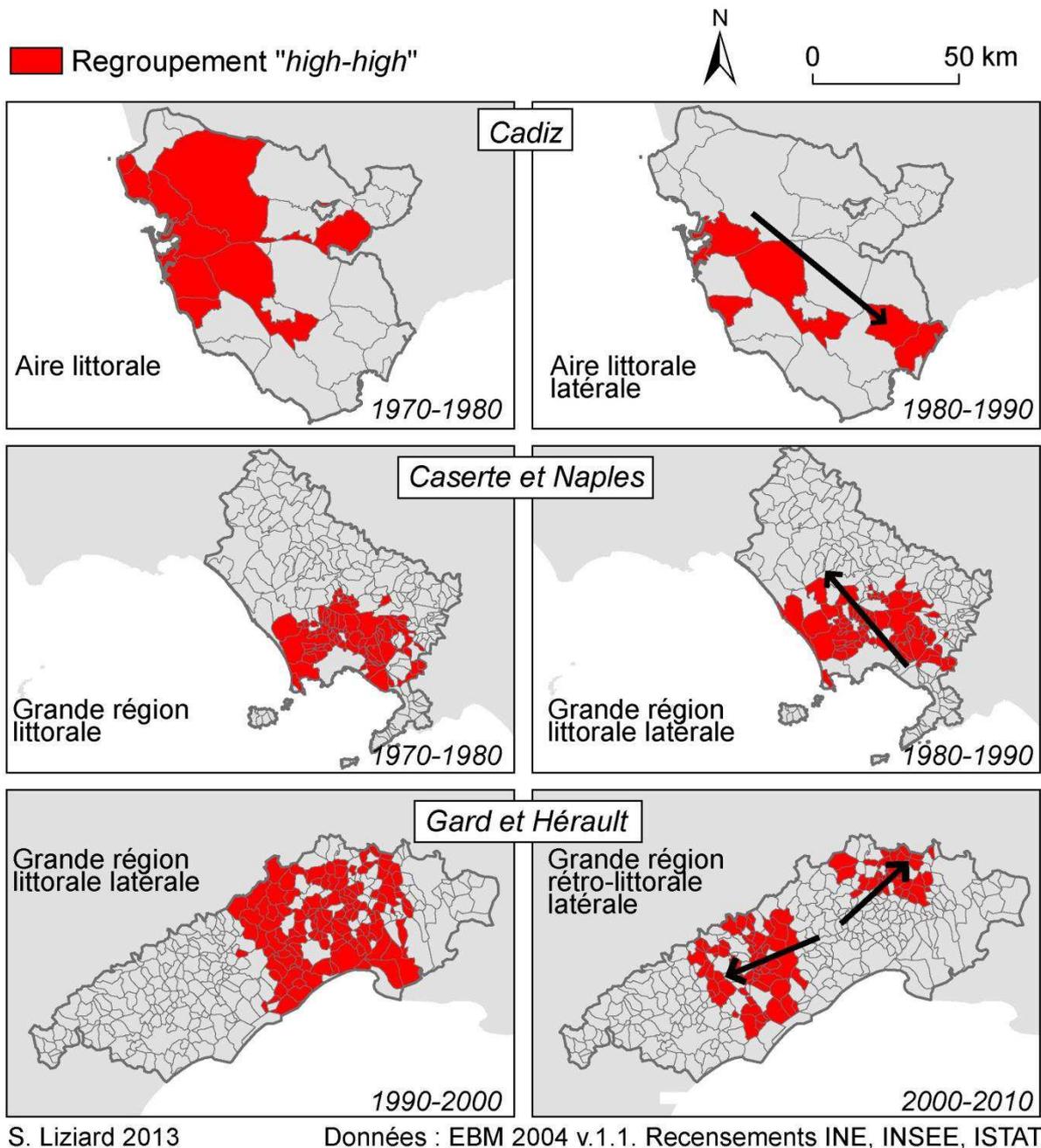


Figure III-26. Exemples d'aire littorale latérale (d-lat), de grande région littorale latérale (e-lat) et de grande région rétro-littorale latérale (f-lat)

Ces quinze configurations spatiales sont complémentaires puisqu'elles permettent de traduire à la fois la littoralisation et ses dynamiques vers l'intérieur des terres, mais aussi des évolutions qui ne sont pas fonction de la distance à la mer. L'analyse de séquences permet d'intégrer ces instantanés de chaque période dans une analyse prenant en compte l'ensemble des évolutions de ces configurations spatiales des dynamiques de peuplement.

2.2. Intégration de la dimension temporelle : l'analyse de séquences

2.2.1. Formalisation séquentielle

Chacune des aires d'étude est caractérisée par une séquence de cinq états, à partir de ces quinze configurations spatiales possibles. Dans le tapis de séquences (Figure III-27), chaque ligne horizontale correspond à la séquence d'une aire d'étude, découpée en segments correspondant aux états successifs.

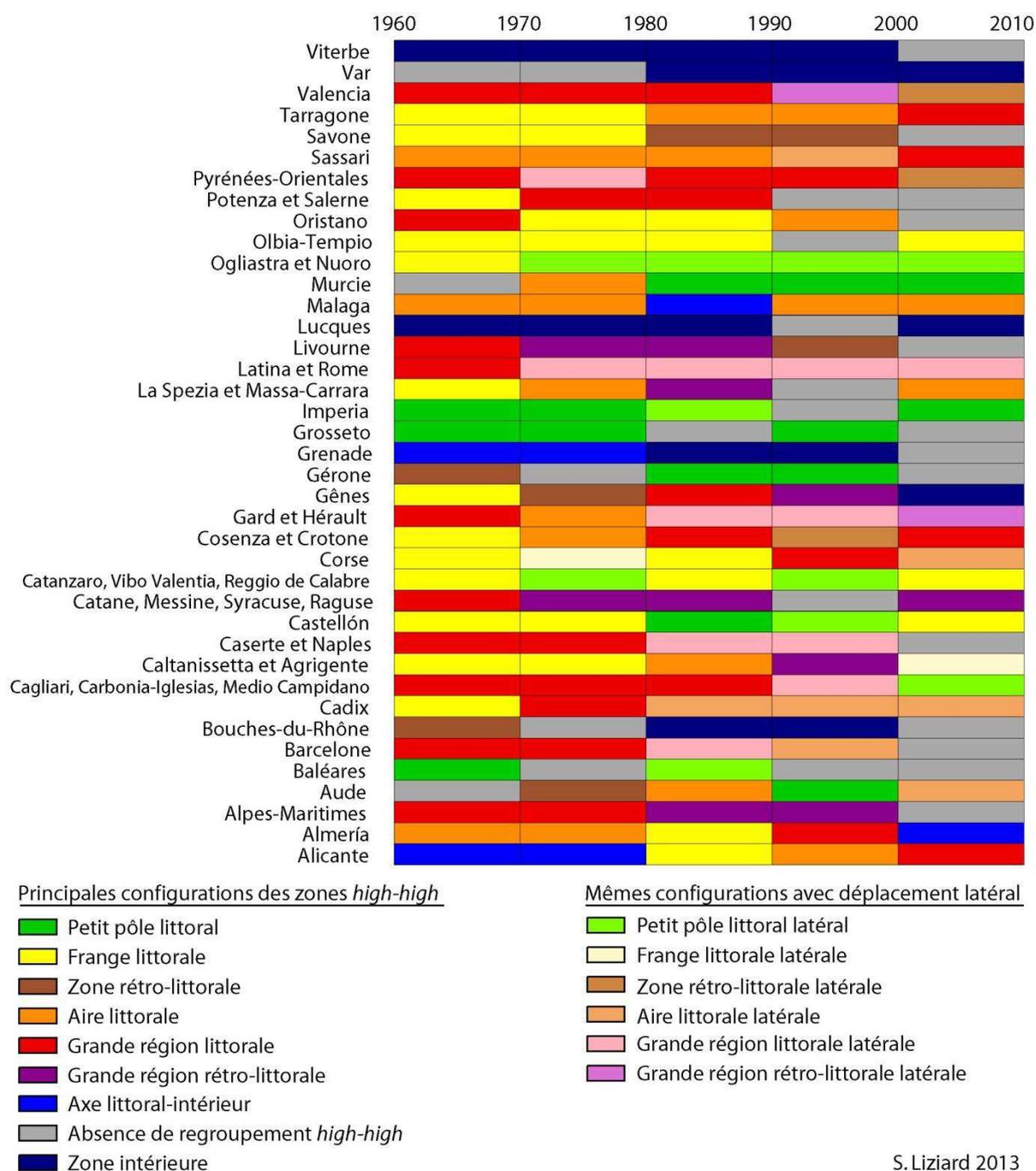


Figure III-27. Tapis des séquences des 39 aires d'étude

Le tapis des séquences, synthétisant l'ensemble des évolutions des structures spatiales des dynamiques de peuplement, est difficile à interpréter du fait du grand nombre d'aires d'étude et des cinq périodes d'analyse. Cette caractéristique est courante en analyse de séquences, qui est par exemple employée pour étudier les résultats d'enquêtes sur les parcours professionnels d'un grand ensemble d'individus sur une longue période (Grelet 2002, Robette et Thibault 2008). Des méthodes de classification permettent de rassembler les évolutions communes. La première étape consiste à calculer une mesure de dissimilarité entre les séquences.

2.2.2. Mesure de la dissimilarité entre trajectoires par l'algorithme de l'Appariement Optimal

L'analyse de séquences propose différentes mesures de la dissimilarité entre paires de séquences, répondant à des objectifs distincts. La littoralisation étant caractérisée par différents stades d'évolution et l'analyse débutant à la même période pour tous les espaces d'étude, il est important de pouvoir prendre en compte les décalages temporels. D'abord introduite par V. Levenshtein (1966) et popularisée dans les sciences sociales par A. Abbott et J. Forrest (1986), la distance d'appariement optimal (*optimal matching distance*) est une mesure de la dissimilarité entre deux séquences. Cette distance correspond au coût de transformation d'une séquence en l'autre. La transformation des séquences se base sur trois opérations élémentaires : l'insertion d'un état, la suppression d'un état et la substitution d'un état par un autre. L'insertion et la suppression sont désignées sous le même terme d'« indel », qui est la contraction d'*insertion* et *deletion* (Abbott et Forrest 1986). Ces deux opérations correspondent en effet à la même transformation. Par exemple, pour transformer l'une des deux séquences B-A-B-A et A-B-A-B en l'autre, on peut soit insérer un A au début de la séquence n°1 et supprimer le A final, soit supprimer le A au début de la séquence n°2 et insérer un A final. À la différence de mesures de similarité basées sur le décompte des états similaires alignés (c'est-à-dire occupant la même position au sein des deux séquences), les opérations d'insertion et de suppression permettent de rapprocher des séquences aux évolutions similaires mais décalées temporellement.

La distance d'appariement optimal est définie comme la somme des coûts minimaux nécessaires pour transformer une séquence en l'autre. Un coût spécifique est donné à chaque opération élémentaire. Généralement, le coût d'un indel est fixé autour de 1, et le coût d'une substitution, correspondant en fait à la succession d'une suppression et d'une insertion, a une valeur proche de 2. Ainsi, si les indels coûtent 1 unité et les substitutions valent 2 unités, le coût de transformation de la séquence B-A-B-A en A-B-A-B est de 2 unités (les deux opérations d'indel précédemment décrites, dans un sens ou dans l'autre). Utiliser des substitutions permet aussi de passer d'une séquence à l'autre mais à un coût global plus élevé

dans cet exemple (8 unités). Indels et substitutions peuvent être combinées pour définir le coût total minimal.

La minimisation du coût total est obtenue grâce à une programmation dynamique⁴⁴. Pour ce faire, nous utilisons TraMineR⁴⁵, une bibliothèque de fonction du logiciel R dédiée à l'exploration, la description et la visualisation de séquences d'états. Elle est développée par A. Gabadinho, G. Ritschard, N.S. Müller et M. Studer (2011) à l'Institut d'études démographiques et de parcours de vie⁴⁶ de l'Université de Genève. L'algorithme implémenté dans TraMineR pour la minimisation des coûts est celui de S.B. Needleman et C.D. Wunsch (1970). Le script de nos analyses sous R est présenté en Annexe 2.

N. Robette et N. Thibault (2004) montrent que différentes approches existent pour déterminer les coûts : certains auteurs adoptent un coût de substitution fixe, alors que de nombreux travaux différencient les coûts de substitution en fonction de la ressemblance des états concernés. Une solution alternative consiste à fixer les coûts de substitution en fonction des probabilités de transition observées entre les états. L'enjeu est d'adapter le mode de détermination des coûts aux données et aux hypothèses de recherche (Robette 2011). Nous choisissons de ne pas donner le même coût de substitution à toutes les transitions, mais de distinguer quatre coûts différents en fonction de la ressemblance des états. Les coûts des différents types de substitution sont organisés dans une matrice mettant en relation chacun des quinze états possibles avec tous les autres (Tableau 1). Le coût de substitution maximal est fixé à 2 et concerne la majeure partie des transitions. Un coût moins élevé (1,75) est donné aux transitions entre les états relativement proches en termes d'organisation spatiale. C'est ainsi le cas pour la transition entre pôles littoraux et franges littorales, entre aire littorale et zone rétro-littorale, entre grande région littorale et grande région rétro-littorale, etc. Les coûts de substitution entre les différents déplacements latéraux (a-lat, b-lat, etc.), correspondant à une logique similaire d'évolution spatiale, sont fixés à 1,5. Les coûts de substitution entre un état et son équivalent en déplacement latéral sont fixés à 1, afin de donner priorité à leur rapprochement, même devant les indels.

⁴⁴ La programmation dynamique est une technique algorithmique optimisant des sommes de fonctions monotones croissantes sous contrainte, basée sur le principe que toute solution optimale s'appuie elle-même sur des sous-problèmes résolus localement de façon optimale.

⁴⁵ *Trajectory Miner in R*

⁴⁶ *Institute for Demographic and Life Course Studies (IDEMO)*

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	a-lat	b-lat	c-lat	d-lat	e-lat	f-lat
a	0	1.75	2	2	2	2	2	1.75	2	1	1.75	2	2	2	2
b	1.75	0	1.75	1.75	2	2	2	2	2	1.75	1	1.75	1.75	2	2
c	2	1.75	0	1.75	2	2	2	2	2	2	1.75	1	1.75	2	2
d	2	1.75	1.75	0	1.75	2	2	2	2	2	1.75	1.75	1	1.75	2
e	2	2	2	1.75	0	1.75	1.75	2	2	2	2	2	1.75	1	1.75
f	2	2	2	2	1.75	0	2	2	1.75	2	2	2	2	1.75	1
g	2	2	2	2	1.75	2	0	2	2	2	2	2	2	1.75	2
h	1.75	2	2	2	2	2	2	0	1.75	1.75	2	2	2	2	2
i	2	2	2	2	2	1.75	2	1.75	0	2	2	2	2	2	1.75
a-lat	1	1.75	2	2	2	2	2	1.75	2	0	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
b-lat	1.75	1	1.75	1.75	2	2	2	2	2	1.5	0	1.5	1.5	1.5	1.5
c-lat	2	1.75	1	1.75	2	2	2	2	2	1.5	1.5	0	1.5	1.5	1.5
d-lat	2	1.75	1.75	1	1.75	2	2	2	2	1.5	1.5	1.5	0	1.5	1.5
e-lat	2	2	2	1.75	1	1.75	1.75	2	2	1.5	1.5	1.5	1.5	0	1.5
f-lat	2	2	2	2	1.75	1	2	2	1.75	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	0

Tableau 2. Matrice des coûts de substitution

L'algorithme ne permet d'attribuer qu'un coût constant aux indels quel que soit l'état concerné par l'insertion ou la suppression. Fixer un coût élevé pour l'indel par rapport aux coûts de substitution favorise le recours aux substitutions, tandis qu'un faible coût favorise naturellement l'indel (Gabadinho *et al.* 2011). Nous choisissons de donner au coût d'indel une valeur intermédiaire (1,1 soit un peu plus que la moitié du coût maximal de substitution). Cette approche constitue un compromis pour mettre en évidence des sous-séquences communes sans totalement omettre la contemporanéité des états. Elle rend possible l'utilisation d'opérations de substitution, mais donne la priorité à l'indel par son coût moindre. Les opérations de substitution n'auraient jamais été plus avantageuses que les indels si le coût de ces derniers avait été inférieur ou égal à la moitié du coût de substitution minimal (Robette 2011).

2.2.3. Classification ascendante hiérarchique

Compte tenu du nombre de territoires étudiés, l'analyse de séquences est associée à une classification. Les classifications automatiques correspondent à une méthode d'analyse exploratoire des données visant à identifier automatiquement des groupes homogènes dans les données. Dans les études de parcours de vie, les distances d'appariement optimal sont couramment associées à une classification. Le but est d'identifier des groupes distincts de séquences avec des motifs similaires, et ainsi de définir une typologie des séquences

(Gabadinho et al 2011.). Une fois la matrice des distances calculée, un procédé de classification ascendante hiérarchique a été appliqué pour agréger les séquences dans un nombre réduit de groupes. La méthode choisie pour le regroupement est la méthode de Ward, qui minimise le total de la variance intra-classe. À partir du dendrogramme résultant (Figure III-28) et du premier diagramme de niveau (Figure III-29), nous avons choisi de créer sept classes. Le second diagramme de niveau montre que cette partition restitue près de 70% de l'information initiale (Figure III-30).

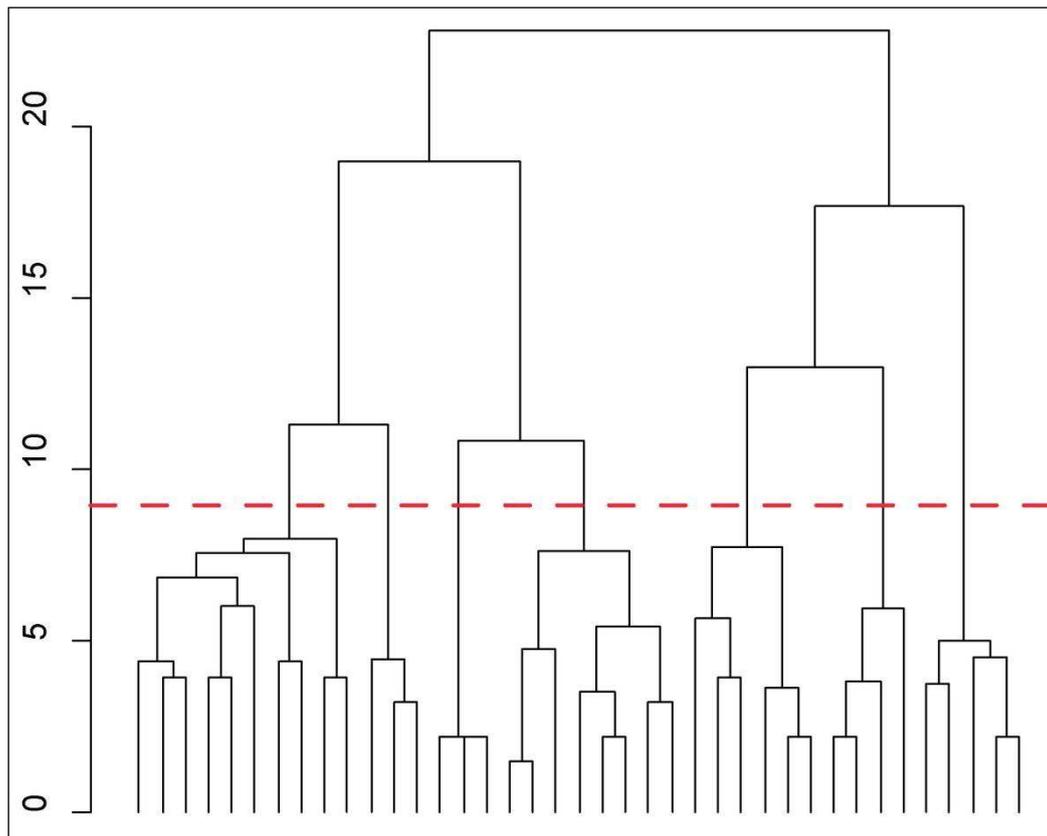


Figure III-28. Dendrogramme issu de la classification des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement des 39 aires d'étude

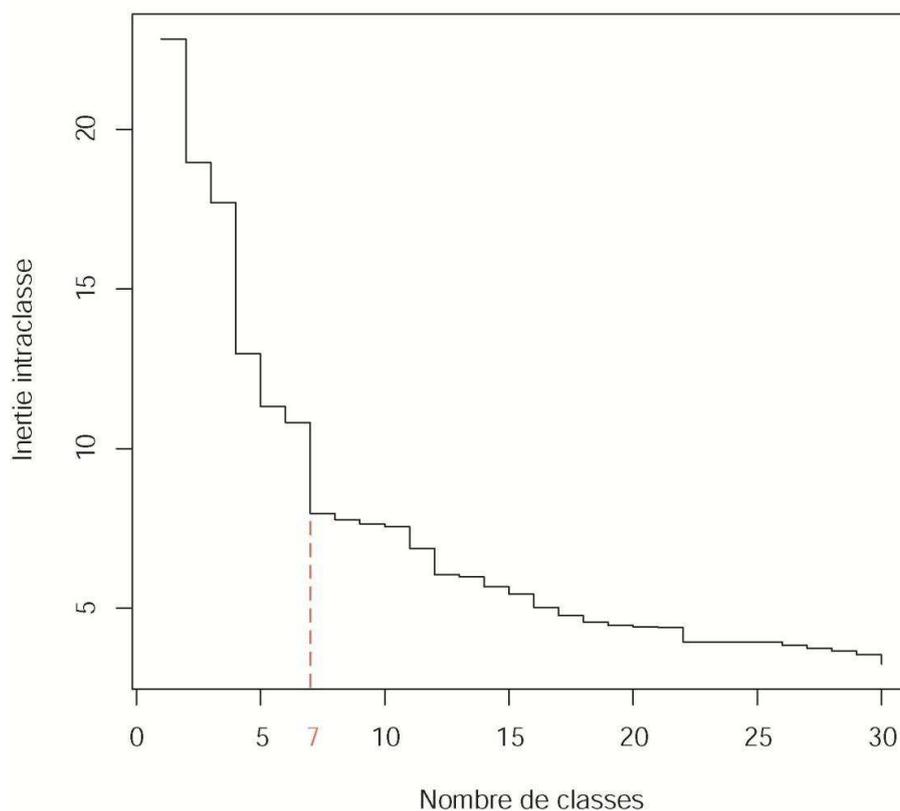


Figure III-29. Evolutions de l'inertie intra-classe avec l'augmentation du nombre de classes d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement

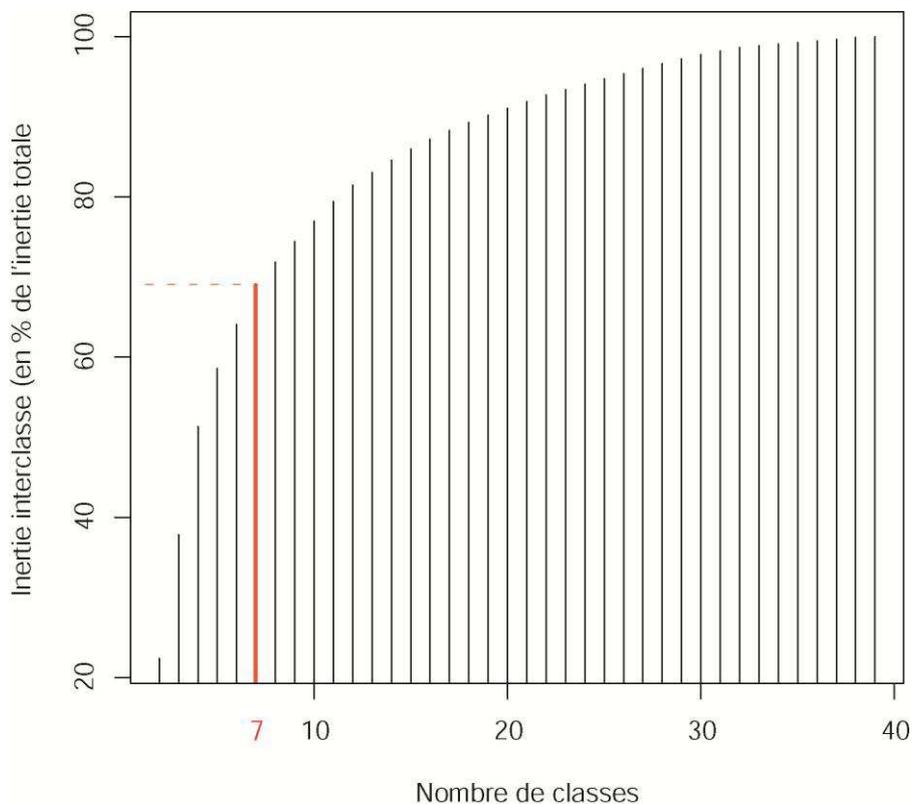


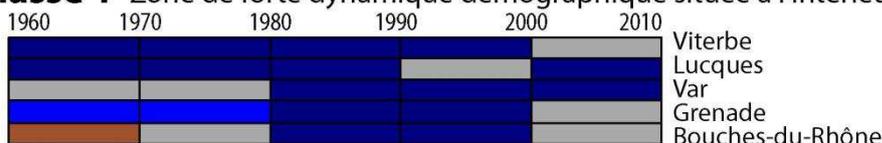
Figure III-30. Evolution de l'inertie interclasse (en % de l'inertie totale) avec l'augmentation du nombre de classes d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement

2.3. Résultats des classes d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement

2.3.1. Analyse des sept classes résultantes de la CAH

La nomenclature des 15 états fait apparaître des trajectoires bien structurées qui ont pu être rassemblées en sept classes grâce à la classification basée sur la distance d'appariement optimal. Sur la Figure III-31, les trajectoires sont rangées au sein de chaque classe selon leur état de départ.

Classe 1 Zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres



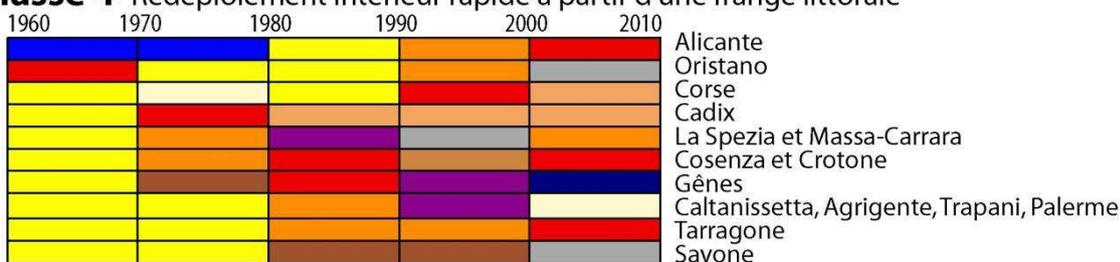
Classe 2 Concentration littorale en un pôle



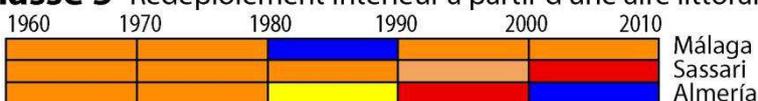
Classe 3 Concentration littorale en une frange progressant latéralement (ou stable)



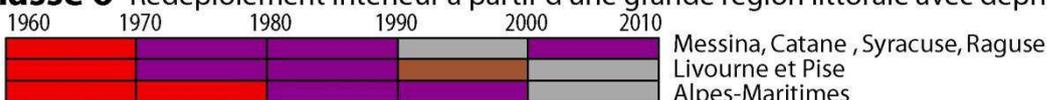
Classe 4 Redéploiement intérieur rapide à partir d'une frange littorale



Classe 5 Redéploiement intérieur à partir d'une aire littorale sans déprise littorale



Classe 6 Redéploiement intérieur à partir d'une grande région littorale avec déprise littorale



Classe 7 Progression latérale (ou intérieure) à partir d'une grande région littorale



Principales configurations des zones high-high

- Petit pôle littoral
- Frange littorale
- Zone rétro-littorale
- Aire littorale
- Grande région littorale
- Grande région rétro-littorale
- Axe littoral-intérieur
- Absence de regroupement high-high
- Zone intérieure

Mêmes configurations avec déplacement latéral

- Petit pôle littoral latéral
- Frange littorale latérale
- Zone rétro-littorale latérale
- Aire littorale latérale
- Grande région littorale latérale
- Grande région rétro-littorale latérale

S. Lizard 2013

Figure III-31. Les sept classes de trajectoires

Classe 1 : Zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres

La première classe rassemble des régions de l'Arc Latin dont les dynamiques de peuplement demeurent à l'*intérieur des terres* pendant toute la période d'analyse (Lucques, Viterbe, Var) ou après une phase de développement plus en relation avec le littoral, sous forme d'*axe littoral-intérieur* (Grenade) ou de *zone rétro-littorale* (Bouches-du-Rhône). Ces évolutions des configurations spatiales des dynamiques de peuplement ne correspondent a priori pas à une logique de littoralisation.

L'exemple du Var (Figure III-32) montre qu'après deux décennies sans structure spatiale de concentration de population, la zone nord-ouest du département émerge et progresse en direction du Sud et surtout de l'Est. Le développement de ce groupe de communes, rassemblées autour de Brignoles et Saint-Maximin-la-Sainte-Baume, suit le tracé de l'autoroute A8 ouverte dans la décennie 1970.

Var

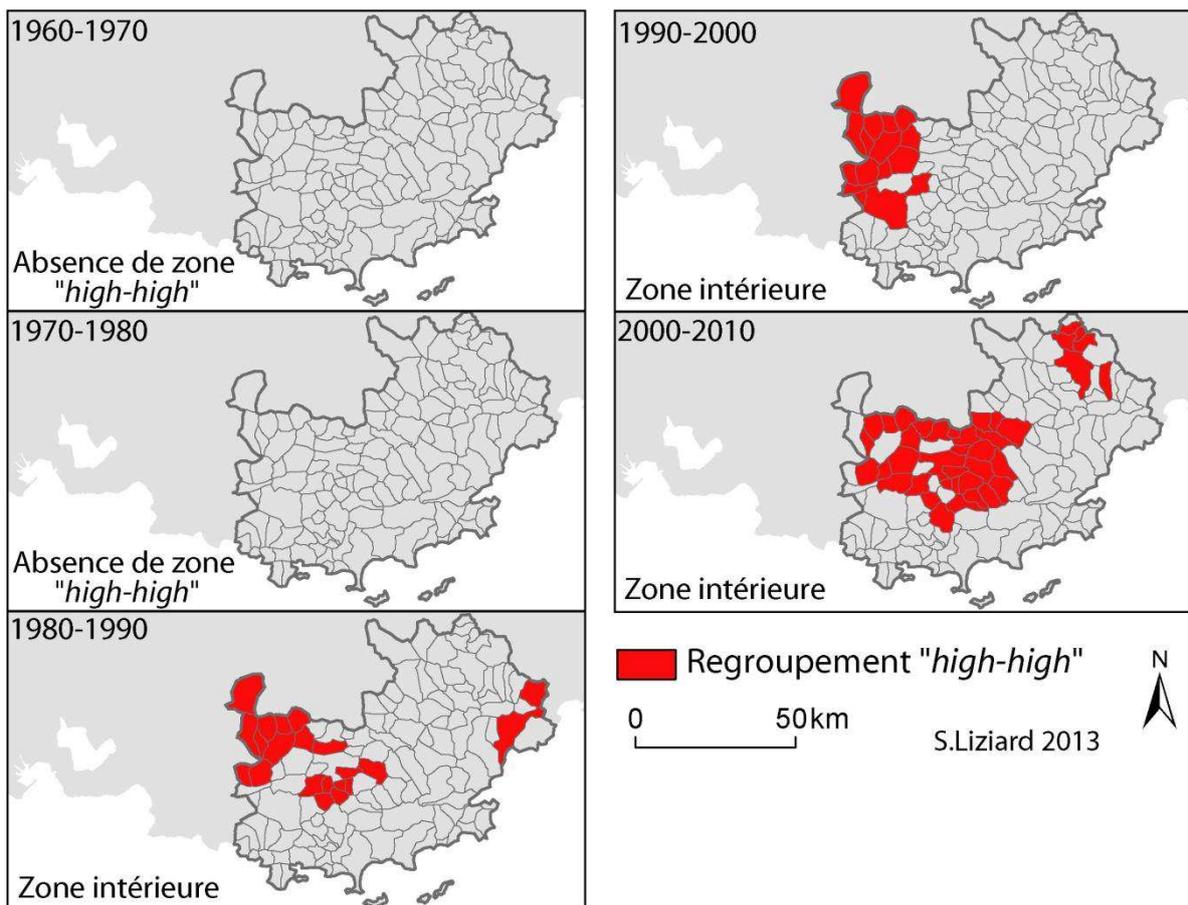


Figure III-32. Exemple de la classe 1 : le Var

Classe 2 : Concentration littorale en un pôle

La deuxième classe regroupe des régions dont la dynamique de peuplement se fait sous forme de *petits pôles littoraux* ayant peu évolué (Baléares, Grosseto, Imperia) ou ayant succédé à un développement littoral un peu plus en relation avec l'intérieur des terres, caractérisé par une *zone rétro-littorale* (Gérone, Aude) ou une *aire littorale* (Murcie). Ces pôles peu évolutifs correspondent à un processus de littoralisation limité tant dans son emprise que dans sa dynamique spatiale.

La zone de concentration de population de Grosseto se limite ainsi à une ou deux communes littorales, voisines du chef-lieu du même nom (Figure III-33).

Grosseto

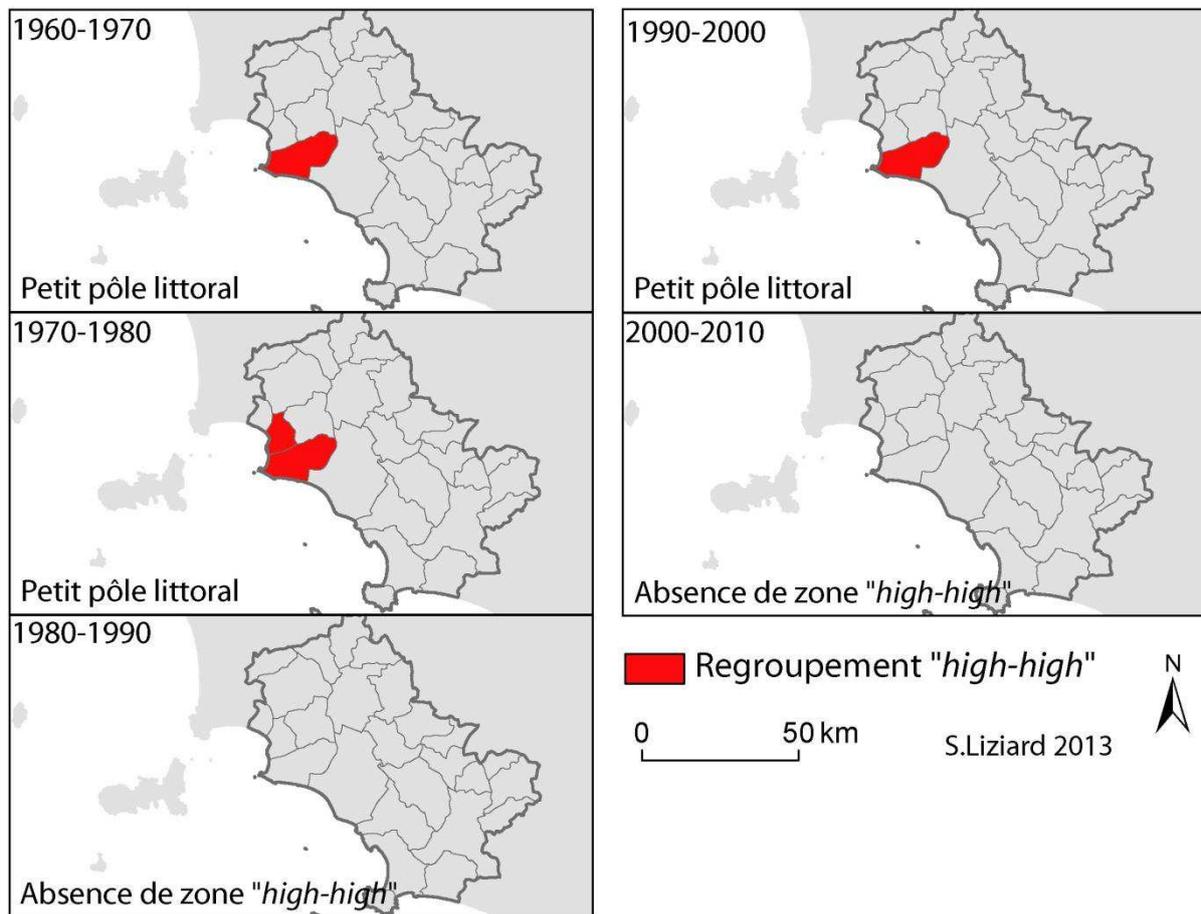


Figure III-33. Exemple de la classe 2 : Grosseto

Classe 3 : Concentration littorale en une frange progressant latéralement (ou stable)

Les trajectoires de la troisième classe sont clairement orientées vers le développement de *franges littorales* par l'intermédiaire de *pôles littoraux latéraux* (Castellón, l'ensemble Catanzaro, Vibo Valentia et Reggio de Calabre et l'ensemble Ogliastro et Nuoro), sauf pour

Olbia-Tempio dont la frange demeure stable. Le cas de Castellón (Figure III-34) illustre bien cette progression latérale de la zone de concentration de population.

Castellón

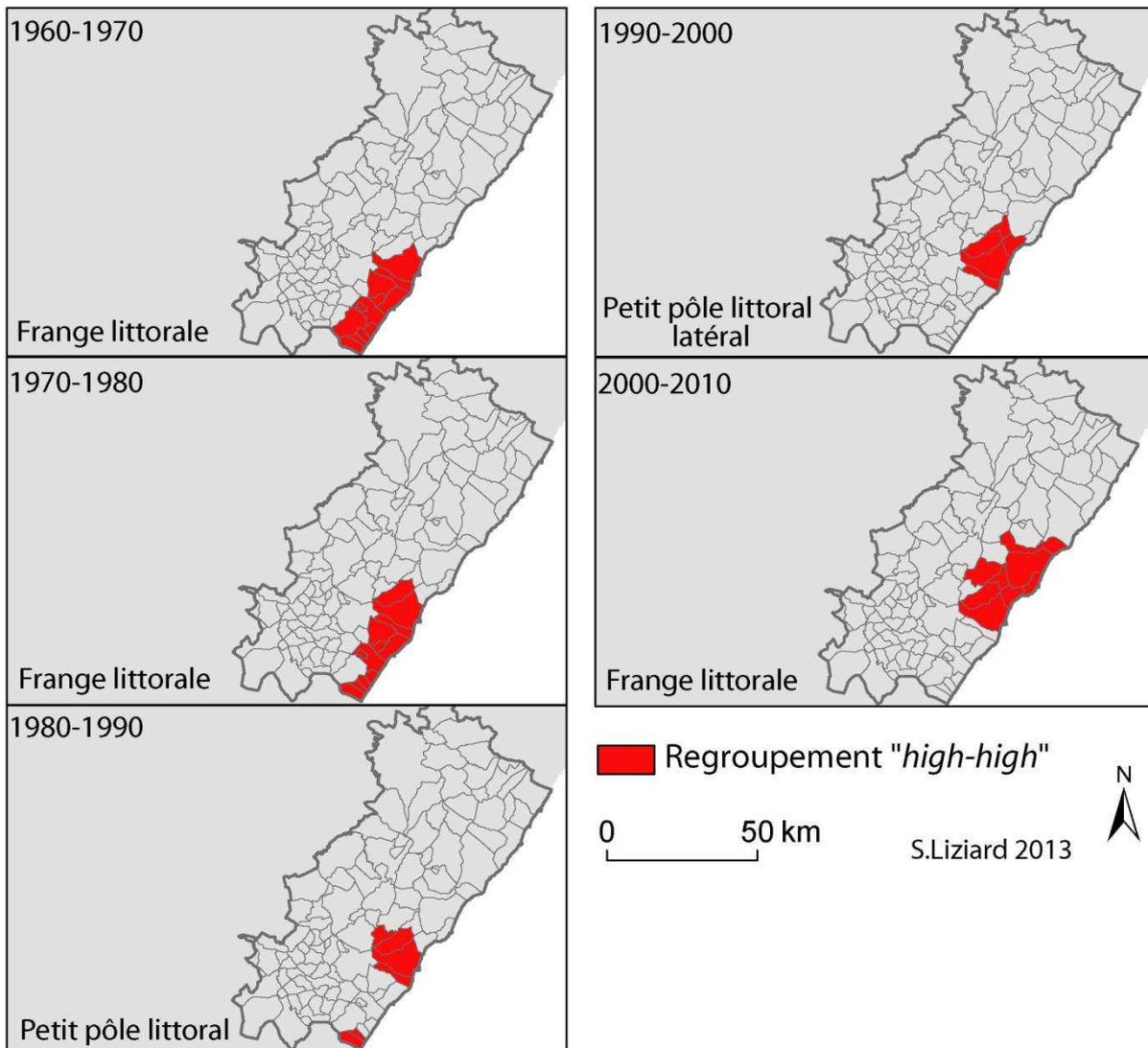


Figure III-34. Exemple de la classe 3 : Castellón

Les classes 2 et 3 correspondent à une logique de développement du front littoral alors que les trois suivantes montrent une progression des zones *high-high* vers l'intérieur des terres, signe d'une saturation de la côte.

Classe 4 : Redéploiement intérieur rapide à partir d'une frange littorale

La quatrième classe rassemble des *franges littorales* ayant fortement évolué : elles présentent des états successifs distincts montrant une évolution rapide. Les évolutions sont diverses mais toutes caractérisées par une progression vers l'intérieur des terres. Ainsi, on observe des évolutions de *frange* à *aire littorale* ou *zone rétro-littorale* (Savone), puis à

grande région littorale ou *rétro-littorale* (l'ensemble Cosenza et Crotone, Tarragone, l'ensemble Caltanissetta, Agrigente, Trapani et Palerme, l'ensemble La Spezia et Massa-Carrara, et enfin Gênes). Des évolutions apparaissent dans les deux dernières décennies : *déplacement latéral* (sous forme de *frange* ou de *zone rétro-littorale*), *absence de regroupement high-high* (correspondant à une homogénéisation de l'ensemble de l'espace) et une *zone intérieure* pour Gênes. Pour Cadix et l'ensemble corse, l'évolution est encore plus rapide avec un passage direct de *frange* à *grande région littorale*, évoluant par la suite sous forme d'*aire littorale latérale*. En ce qui concerne les deux provinces restantes, la constitution de la *frange littorale* et son élargissement ont lieu après une première période de développement à la fois littoral et intérieur : sous forme d'*axe littoral-intérieur* pour Alicante et sous forme de *grande région littorale* pour Oristano. Il semblerait que l'on assiste alors à la mise en place d'un processus de littoralisation.

La province de Gênes (Figure III-35) fournit un exemple de succession de différentes configurations spatiales traduisant un report intérieur de la zone de concentration de population. Chaque décennie est caractérisée par une zone *high-high* différente, le tout dessinant une évolution de la localisation des dynamiques de population en différentes étapes se succédant rapidement.

Gênes

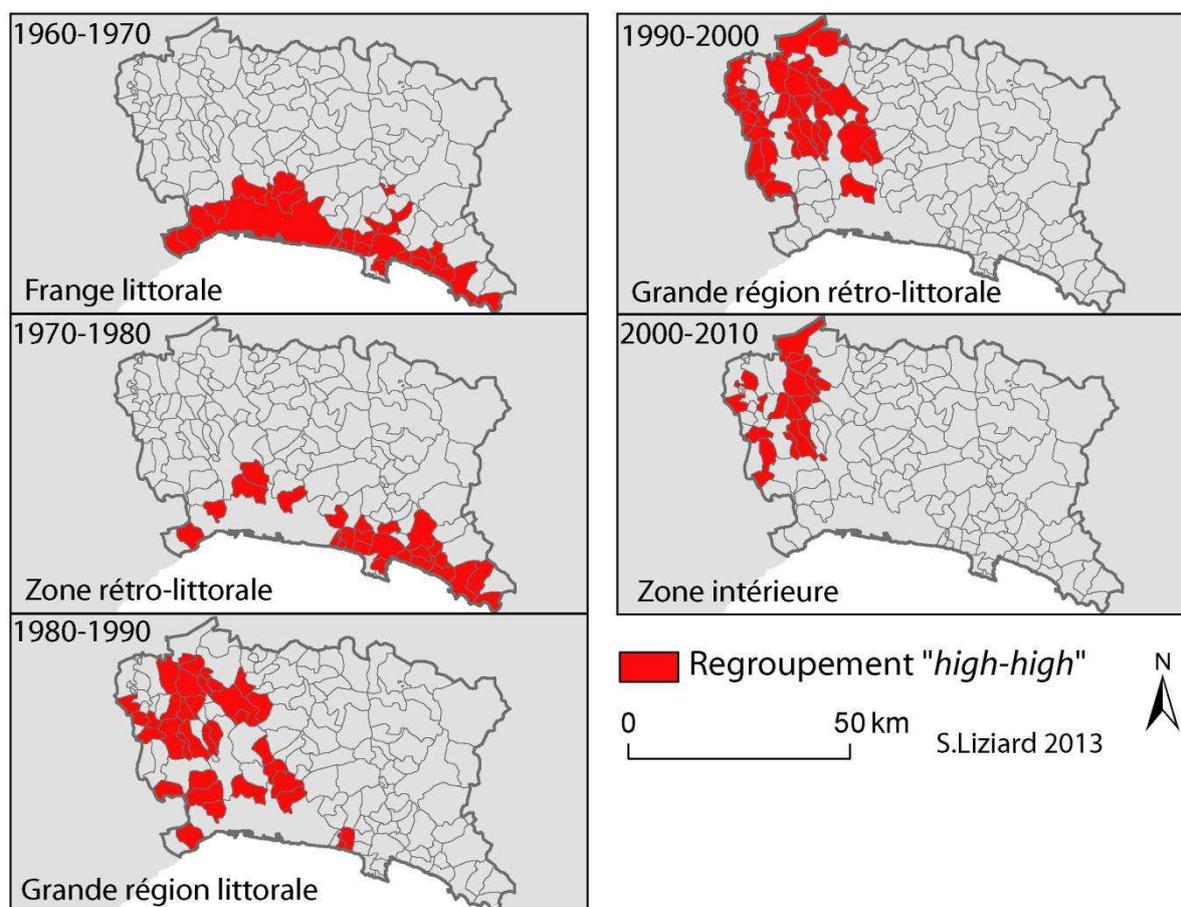


Figure III-35. Exemple de la classe 4 : Gênes

Le cas d'Alicante (Figure III-36) est plus particulier car, suite au développement d'une ligne reliant son chef-lieu et l'intérieur des terres, des pôles littoraux apparaissent. Ils s'étendent d'abord le long de la mer, à l'Est vers Benidorm et à l'Ouest d'Elche où ils se développent par la suite vers l'intérieur des terres, en relation avec Murcie située de l'autre côté de la frontière.

Alicante

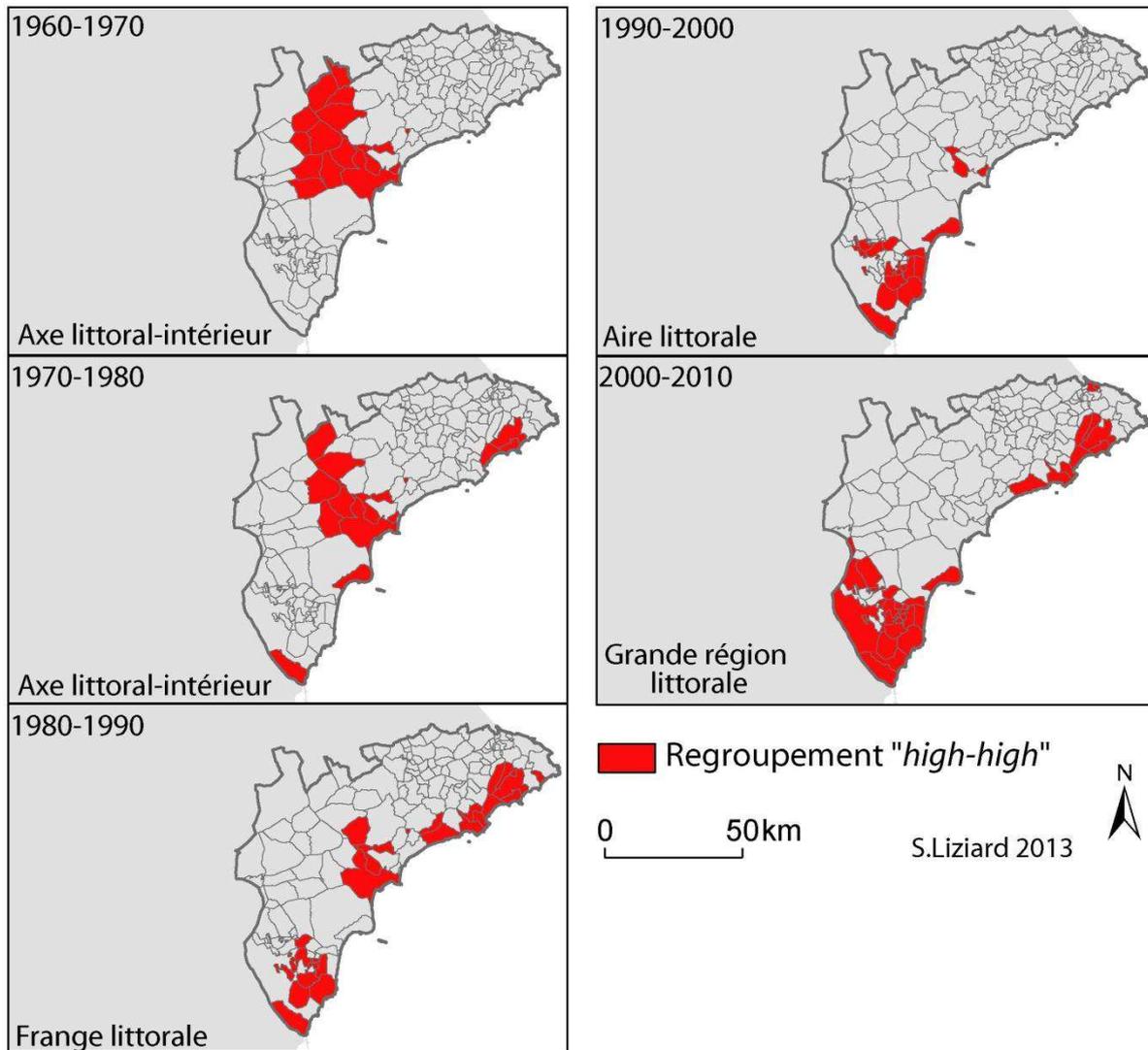


Figure III-36. Exemple de la classe 4 : Alicante

Classe 5 : Redéploiement intérieur à partir d'une aire littorale sans déprise littorale

La dynamique de peuplement des zones appartenant à la cinquième classe prend place sur une *aire littorale* dès les années 1960 et a peu évolué (Malaga) ou seulement dans les dernières décennies en direction de l'intérieur des terres : sous forme de *grande région littorale* (Sassari : Figure III-37) puis d'*axe littoral-intérieur* (Almería).

Sassari

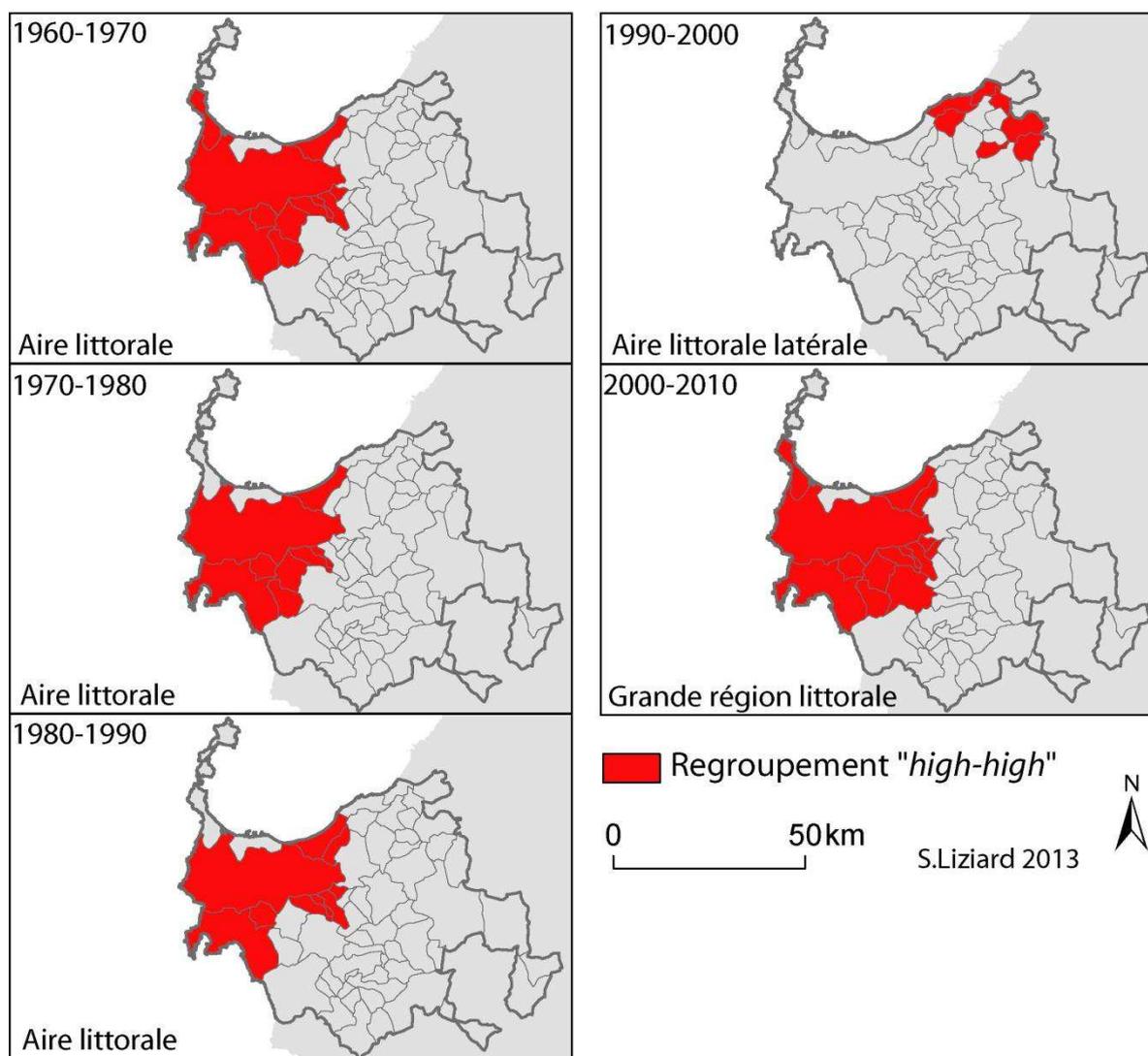


Figure III-37. Exemple de la classe 5 : Sassari

Classe 6 : Redéploiement intérieur à partir d'une grande région littorale avec déprise littorale

La sixième classe correspond au passage d'une *grande région littorale* à une *grande région rétro-littorale* (Alpes-Maritimes, l'ensemble Messine, Catane, Syracuse et Raguse, l'ensemble Livourne et Pise). L'espace tend alors à s'homogénéiser, expliquant l'*absence de zone high-high* dans les dernières décennies.

Les Alpes-Maritimes (Figure III-38) montrent le recul et la déprise littorale progressive de la zone de concentration de la population.

Alpes-Maritimes

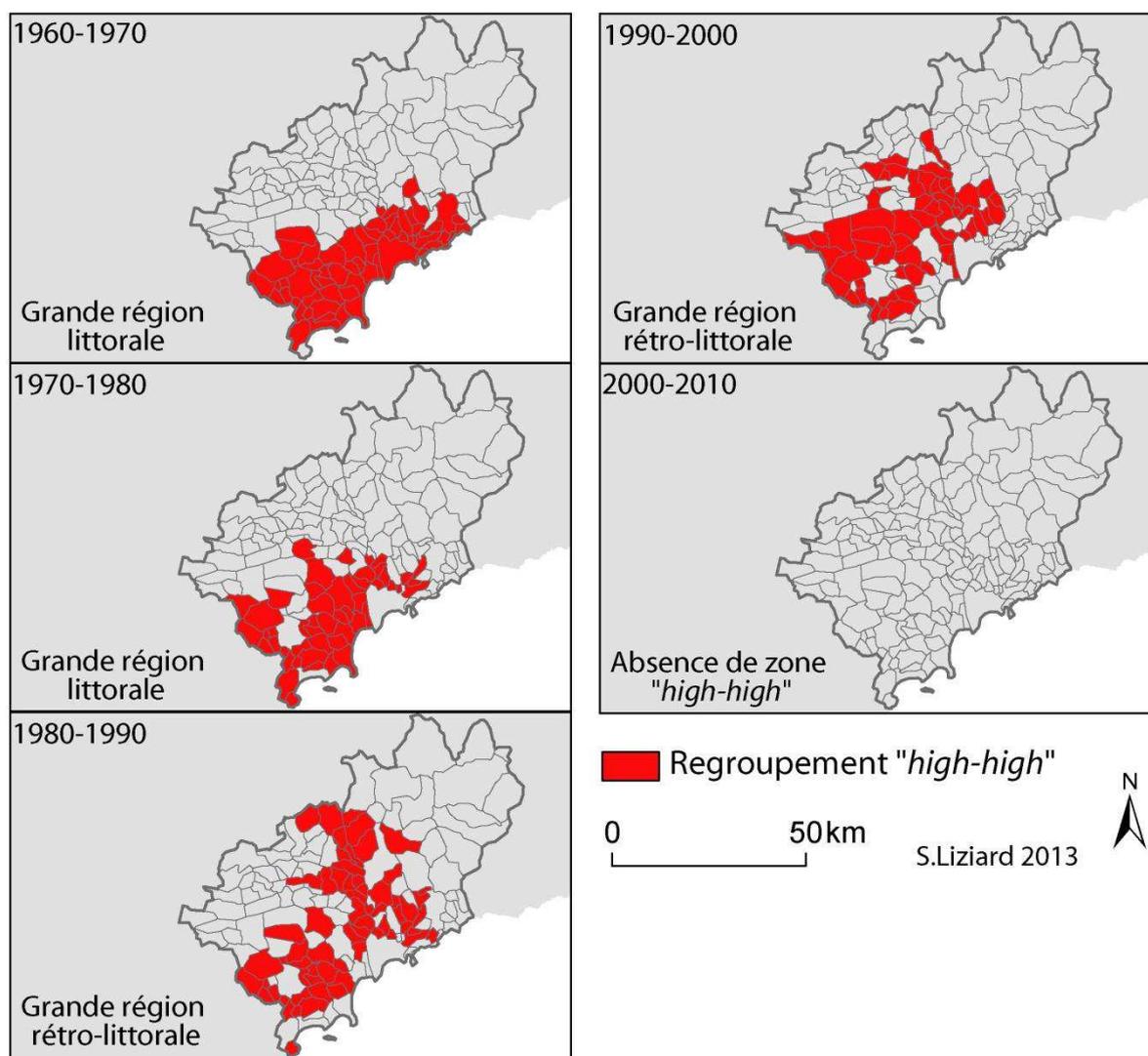


Figure III-38. Exemple de la classe 6 : Alpes-Maritimes

Classe 7 : Progression latérale (ou intérieure) à partir d'une grande région littorale

La septième classe rassemble des zones présentant elles-aussi *une grande région littorale* au début de la période d'analyse mais qui évoluent par mouvement latéral (sauf Potenza et Salerne, vers l'intérieur des terres). Ce déplacement se produit principalement sous forme d'une *grande région littorale latérale* (Barcelone, l'ensemble Cagliari, Carbonia-Iglesias et Medio-Campidano, l'ensemble Caserte et Naples, l'ensemble Gard et Hérault, l'ensemble Latina et Rome, Pyrénées-Orientales). Les deux dernières décennies mettent en évidence de nouvelles évolutions : des déplacements le long des côtes sous forme de *zones rétro-littorales latérales* et de *grandes régions rétro-littorales latérales* (Valence), sous des formes plus réduites comme un *petit pôle littoral latéral* ou une *frange littorale latérale*, ou encore une *absence de regroupement high-high* pour l'ensemble Potenza et Salerne.

Dans la province barcelonaise (Figure III-39) c'est presque une dynamique radioconcentrique que l'on peut observer autour de la capitale catalane.

Barcelone

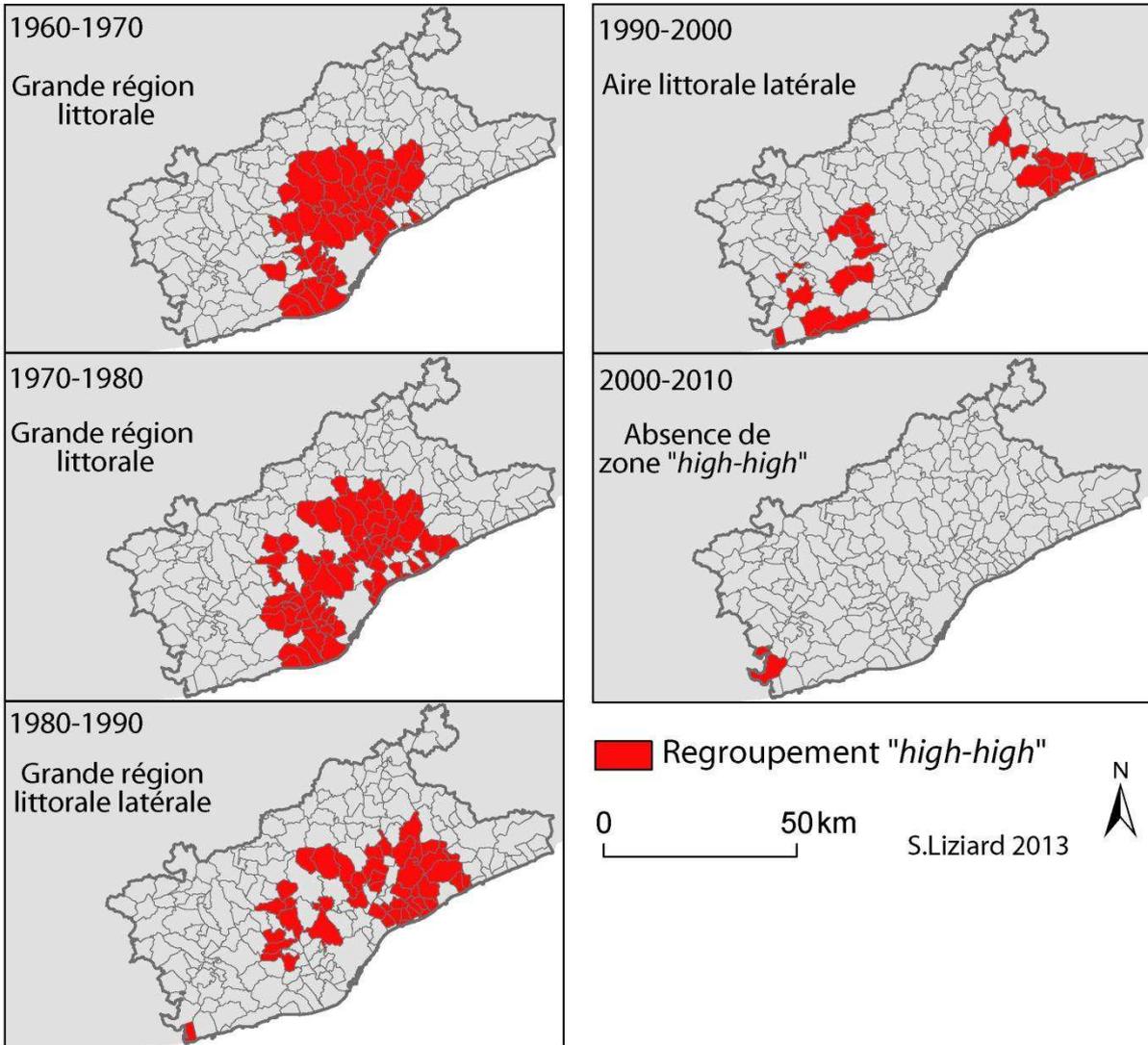


Figure III-39. Exemple de la classe 7 : Barcelone

Pour le Gard et l'Hérault, les zones de concentration de la population et leur évolution s'organisent autour de Montpellier (Figure III-40). Après la décennie 1980 où la zone *high-high* atteint la limite intérieure des 40 km, elle progresse rapidement sous forme de front dense vers l'Ouest, dont le front de mer est exclu lors de la dernière décennie.

Gard et Hérault

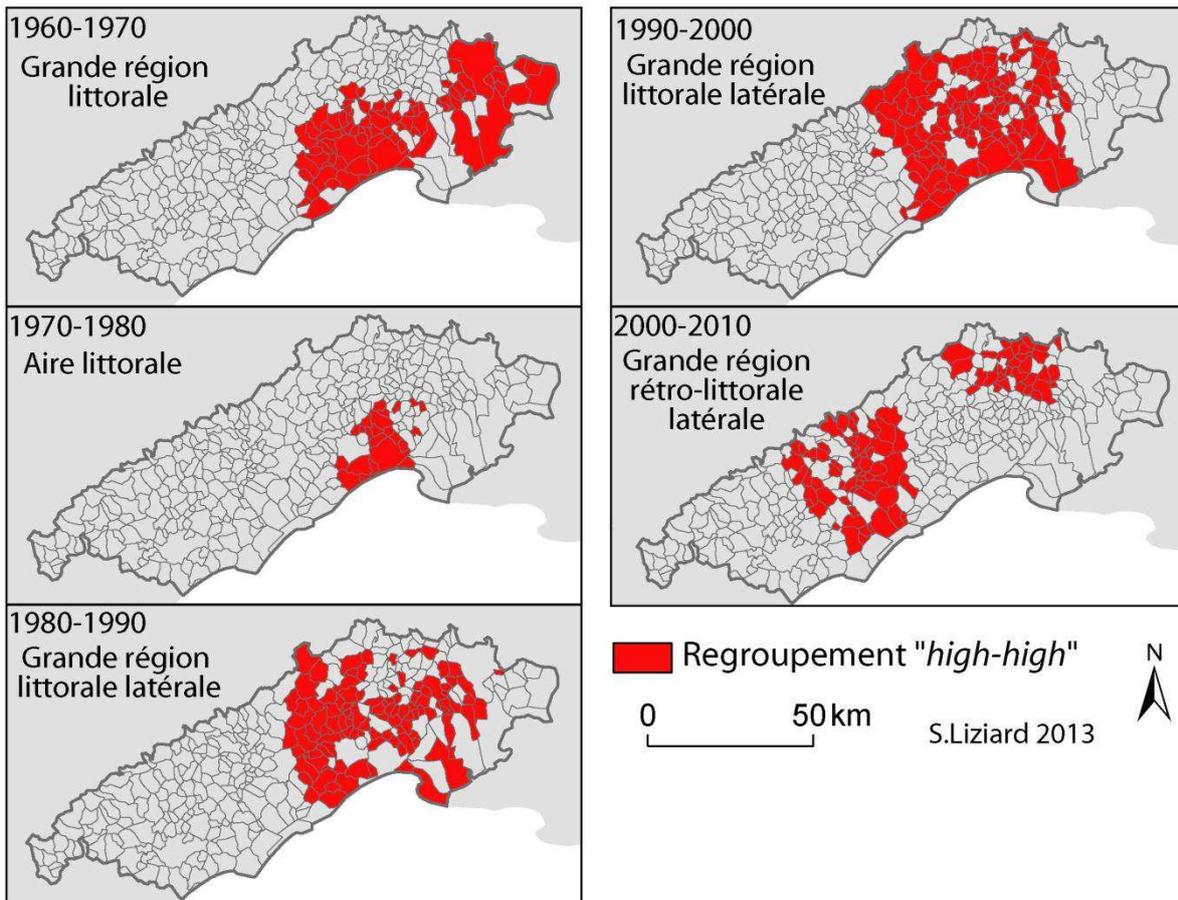


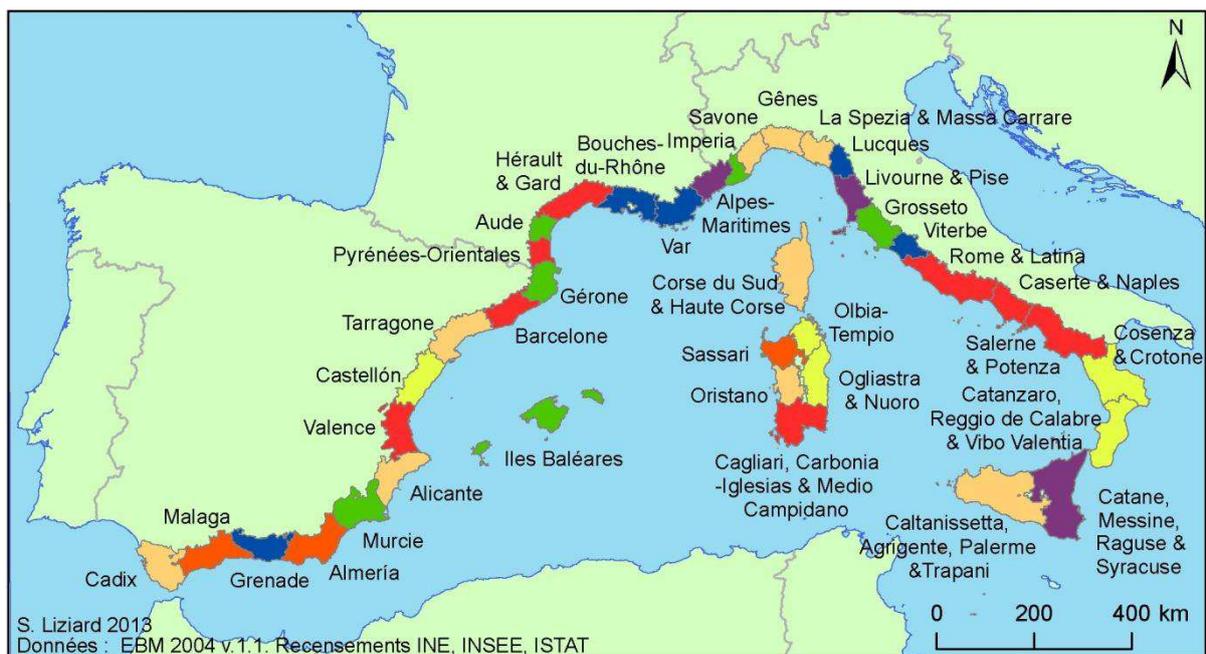
Figure III-40. Exemple de la classe 7 : Gard et Hérault

2.3.2. Analyse croisée des différentes classes

La classification met en évidence différentes évolutions spatiales des dynamiques de peuplement de l'Arc Latin, dont la plupart correspondent à une logique de littoralisation. Celle-ci se traduit par un mouvement de concentration littorale (classes 2 et 3) ou un élargissement de cette dynamique en direction de l'intérieur des terres (classes 4, 5 et 6). La classification permet, au sein de ce schéma classique de littoralisation qu'elle valide, de comparer et rassembler les trajectoires des dynamiques de peuplement selon leur caractère évolutif (rapidité, stabilité), l'emprise spatiale des zones *high-high* (taille, forme, emplacement par rapport au littoral), leurs dynamiques spatiales (déplacement du littoral vers l'intérieur des terres ou inversement, déplacement latéral, disparition des zones *high-high*) et la temporalité des zones d'étude (contemporanéité du stade de développement). L'absence de véritable bifurcation à l'intérieur des sept classes montre une certaine stabilité des dynamiques de peuplement.

La dynamique de peuplement localisée à l'intérieur des terres de la classe 1 ne concorde pas avec le modèle classique du processus de littoralisation précédemment décrit. La littoralisation a pu néanmoins précéder la période d'analyse ou être secondaire face à une autre dynamique de peuplement plus marquée. La classe 7, par la forme initiale prise par les dynamiques de peuplement (une *grande région littorale*) et les évolutions qu'elle présente (principalement un déplacement sous forme de *grande région littorale latérale*) diffère également du modèle d'évolution classique de la littoralisation. Cette classe pourrait correspondre à un développement initial qui ne serait pas uniquement tourné vers le littoral, mais concernerait une part importante de la région. Néanmoins, certains de ces déplacements latéraux, par leur caractère rétro-littoral, témoignent d'un littoral déjà saturé. D'autres déplacements latéraux, qui ne sont pas rétro-littoraux, se concentrent quant à eux progressivement sur la côte (l'emprise à l'intérieur des terres se réduit). Cela montre que ces déplacements latéraux interviennent au moins partiellement dans une logique de littoralisation. La classe 4 montre en outre que la littoralisation comble d'abord la côte et l'espace à l'intérieur des terres avant de présenter des évolutions latérales. Les trajectoires de la classe 7 semblent ainsi pouvoir correspondre à une absence de logique de littoralisation, mais aussi à un stade extrêmement avancé de littoralisation, aboutissant à un élargissement latéral de la *grande région littorale*.

La Figure III-41 montre une dissémination dans l'espace des différentes classes. Chaque pays présente ainsi une variété de classes d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement. Par endroits, on peut néanmoins observer quelques regroupements d'aires d'étude appartenant à une même classe : le Golfe de Gênes, le Latium et la Campanie, la Calabre, ou encore l'Ouest de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Leurs provinces et départements sont dotés du même type de relief, soit fortement contraignant, soit plutôt peu contraignant.



Classes :

- 1 - Zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres
- 2 - Concentration littorale en un pôle
- 3 - Concentration littorale en une frange progressant latéralement (ou stable)
- 4 - Redéploiement intérieur rapide à partir d'une frange littorale
- 5 - Redéploiement intérieur à partir d'une aire littorale sans déprise littorale
- 6 - Redéploiement intérieur à partir d'une grande région littorale avec déprise littorale
- 7 - Progression latérale (ou intérieure) à partir d'une grande région littorale

Figure III-41. Carte des classes d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement sur l'Arc Latin

La classification montre que les différentes formes d'emprise spatiale de zones *high-high* suivent des trajectoires plus ou moins bien définies. Ainsi, les *zones intérieures* tendent à rester *zones intérieures* (classe 1). Les *petits pôles littoraux* restent dans le même état (classe 2) ou s'associent en diffusion latérale à partir d'une *frange littorale* (classe 3). D'autres *franges littorales* connaissent une évolution rapide vers l'intérieur des terres, selon de multiples modalités (classe 4) :

- la frange devient une *aire littorale* ou directement une *grande région littorale*,
- le front de mer peut être exclu directement du regroupement *high-high* (configuration rétro-littorale) ou plus tard,
- la zone *high-high* peut se déplacer latéralement ou encore disparaître (*absence de regroupement high-high*) à la fin de la période d'étude.

Cette diversité montre que la littoralisation ne se déroule pas de manière similaire dans les régions caractérisées initialement en tant que *frange littorale*. Les *aires littorales* anciennes évoluent plus ou moins rapidement vers l'intérieur des terres (classes 4 et 5). Les

grandes régions littorales évoluent vers l'intérieur des terres (par déprise littorale, sous forme de *grande région rétro-littorale*), ou bien par déplacement latéral (classes 4 et 6). L'*absence de regroupement high-high*, c'est-à-dire l'absence d'une zone homogène qui se démarquerait par de fortes dynamiques, apparaît dans deux grands types de situation : soit à la fin d'une évolution avancée (classes 4 et 6), soit de manière ponctuelle au sein de trajectoires correspondant à des *petits pôles littoraux* qui évoluent peu (classe 2) ou à des *zones intérieures* (classe 1).

2.3.3. Retour sur la méthode

Dans la régionalisation par les LISA, les données communales sont potentiellement porteuses de biais par les différences de forme et de taille des unités administratives. Malgré les précautions prises pour limiter les effets de taille et de voisinage, ceux-ci ne peuvent être totalement supprimés. Néanmoins, les résultats montrent qu'ils n'ont pas empêché l'identification de configurations spatiales récurrentes et porteuses de sens au sein de trajectoires structurées. Les résultats valident ainsi l'hypothèse selon laquelle les regroupements de communes avec des valeurs élevées de dynamique de peuplement constituent un marqueur significatif du processus de littoralisation. Le calcul des LISA sur la base des taux de croissance annuels moyens de la population au niveau communal fait apparaître sous forme de *regroupement high-high* les zones continues ayant une dynamique de peuplement forte et homogène. Un test de significativité des LISA a été effectué au moyen d'un tirage aléatoire de type Monte-Carlo (Anselin 1995). Nous avons finalement décidé de garder les valeurs jugées non significatives dans l'analyse. En effet, leur examen indique qu'elles sont porteuses de sens dans la continuité des trajectoires. À l'inverse, leur attribuer un état « *non significatif* » commun dans la nomenclature aboutirait à des rapprochements aberrants lors de la classification. L'absence de structure d'association spatiale locale positive ou leur présence très limitée est en outre prise en compte d'une part par la classe « *absence de regroupement high-high* » et d'autre part par les classes « *petit pôle littoral* » et « *zone rétro-littorale* » correspondant à des zones de petite taille.

Le choix de la nomenclature des états est une étape cruciale de l'analyse, les résultats de l'analyse de séquences étant avant tout liés à l'information sélectionnée pour décrire les trajectoires (Grelet 2002). La nomenclature a nécessité un examen minutieux de l'ensemble des cartes des LISA pour identifier des configurations récurrentes, assez nombreuses pour différencier les évolutions, mais sans excès pour pouvoir regrouper des évolutions semblables. Face au nombre important d'états issus des configurations des zones *high-high*, nous avons choisi de ne pas introduire les regroupements *low-low* (ensemble continu des communes caractérisé par des valeurs faibles) dans la définition des états de la nomenclature. Les regroupements *low-low* pourraient être utilisés pour mettre en évidence des situations de

littoralisation partielle, où une part de l'aire d'étude est constituée d'une zone de déprise à la fois littorale et intérieure (Liziard 2013). Par ailleurs, les évolutions des regroupements *low-low* sont généralement en relation avec celles des zones *high-high* : par exemple une progression d'une aire littorale vers l'intérieur des terres est généralement associée à un recul du regroupement *low-low* de l'arrière-pays ou à sa disparition. Notre choix des états de la nomenclature était tourné vers l'identification des dynamiques de littoralisation, mais la même méthode pourrait être employée pour analyser d'autres aspects de l'évolution du peuplement en adaptant la nomenclature : l'accent pourrait être mis sur la déprise intérieure en se focalisant sur les zones *low-low*, sur les processus d'homogénéisation en caractérisant le morcellement des structures d'association locale, ou encore sur les singularités et les discontinuités par l'analyse des *outliers* (les unités spatiales ayant une valeur particulièrement élevée ou faible par rapport à celles de leur voisinage). Pour ouvrir la nomenclature à d'autres formes de regroupement *high-high* et permettre la reproductibilité de cette méthode sur d'autres littoraux, une piste serait d'utiliser un ensemble d'indicateurs pour décrire les configurations spatiales, par exemple la surface de la zone *high-high*, la distance au littoral et un coefficient d'allongement. Une analyse statistique multivariée, telle qu'une analyse en composantes principales complétée par une classification ascendante hiérarchique, pourrait être envisagée pour regrouper les formes partageant les mêmes caractéristiques.

La classification a constitué une aide précieuse pour regrouper des séquences complexes sur la base d'hypothèses théoriques, explicitées dans le paramétrage du calcul des distances d'appariement optimal à travers les coûts d'indel et de substitution. Le choix du nombre de classes ne doit pas reposer uniquement sur les indicateurs statistiques qui servent simplement de guide. La classification choisie doit être cohérente et porteuse d'enseignements du point de vue de la recherche qui est menée (Robette, 2011). D'après W.T. Williams et G.N. Lance (1965), « *classifications so produced can never be true or false, or even probable or improbable; they can only be profitable or unprofitable* »⁴⁷. Ainsi, N. Robette (2011) conseille d'examiner plusieurs niveaux de partition à partir des orientations données par les indicateurs statistiques. Dans notre classification, une partition en six groupes agrège les classes 6 et 7, ne distinguant plus les grandes régions connaissant une évolution rétro-littorale de celles présentant une évolution latérale. Une classification en 8 groupes sépare de la classe 1 deux provinces dont la trajectoire se termine par une *absence de regroupement high-high* (Oristano et Savone), sans qu'une véritable interprétation de ce regroupement ne puisse être proposée. Nous avons donc choisi de conserver la partition en sept classes. Étant donné le nombre relativement réduit d'individus (39) par rapport au nombre d'états (15) et au nombre de classes (7), la robustesse de la classification est très limitée. Cela peut par exemple s'observer en retirant certains individus de l'analyse, mais n'enlève cependant pas son intérêt pour

⁴⁷ Les classifications produites ne peuvent être vraies ou fausses, ni même probables ou improbables ; elles ne peuvent être que fructueuses ou infructueuses.

l'ensemble fini que représente l'Arc Latin. Une telle démarche de classification de séquences serait plus robuste statistiquement parlant en l'appliquant à une problématique intégrant un nombre plus important d'unités spatiales (par exemple les communes d'une région). Il en va de même pour le nombre de périodes d'analyse, qui se heurte cependant à la disponibilité des données anciennes et à leur granularité temporelle.

Conclusion

Pour analyser conjointement les dimensions spatiales et temporelles des processus de littoralisation de l'Arc Latin, un protocole d'analyse des évolutions des configurations spatiales des dynamiques de peuplement a été élaboré. Il combine des techniques de l'analyse exploratoire de données spatiales et de l'analyse de séquences. Les configurations spatiales des dynamiques de littoralisation ont été identifiées par le calcul et la cartographie des indicateurs locaux d'association spatiale (LISA), qui révèlent les groupes de communes continues caractérisées par une forte dynamique de peuplement. Une classification basée sur la distance d'appariement optimal identifie sept groupes des trajectoires à partir des 39 aires d'étude de l'Arc Latin pour la période 1960-2010. La plupart des classes correspondent à une logique de littoralisation. Deux types de trajectoires de concentration littorale s'observent : par pôles littoraux peu évolutifs (classe 2) et par franges littorales se développant latéralement (classe 3). Trois types de trajectoires sont caractérisés par un élargissement de la zone de concentration littorale vers l'intérieur des terres : des trajectoires très rapides d'évolution intérieure à partir de franges littorales (classe 4), des trajectoires correspondant à des aires littorales progressant vers l'intérieur des terres dans les dernières décennies (classe 5) et des grandes régions littorales qui évoluent lentement vers l'intérieur des terres par déprise littorale (classe 6). La classification permet ainsi de distinguer des formes d'évolution différentes au sein du schéma classique de littoralisation. Non seulement les espaces se situent à différents stades du processus, mais en plus les mêmes zones de concentration de la population ne présentent pas forcément les mêmes dynamiques spatiales et temporalités d'évolution. L'évolution de certaines formes apparaît plus variable que pour d'autres. Par ailleurs, alors que la classe 1 correspond à un développement intérieur, la classe 7 met en évidence des évolutions jusqu'alors peu étudiées. Il s'agit de déplacements latéraux à partir d'une grande région littorale, pouvant correspondre à une absence de logique spécifique de littoralisation mais aussi à un stade extrêmement avancé de littoralisation.

Conclusion du Chapitre III

Afin de mener une analyse prospective des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin, une première analyse rétrospective était nécessaire. En effet, celle-ci va être mobilisée pour la caractérisation des propriétés des différentes trajectoires de peuplement, utiles dans notre démarche de prospective spatiale pour identifier les modalités d'évolution future des 39 zones d'étude. Il s'agissait ainsi dans ce chapitre de retracer les trajectoires de peuplement de l'Arc Latin. L'analyse de la distribution de la population en fonction de la distance au rivage a permis d'analyser spécifiquement le déploiement de la littoralisation sur les côtes de l'Arc Latin et d'identifier des profils spatio-temporels d'évolution de la distribution de la population. L'analyse de l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement a quant à elle nécessité l'élaboration d'un protocole combinant des méthodes de l'analyse exploratoire de données (ESDA) et de l'analyse de séquences. Ce protocole caractérise l'évolution spatiale des zones homogènes de forte croissance de la population, en soustrayant l'analyse du poids du peuplement des périodes antérieures. La typologie des profils spatio-temporels de distribution de la population (Figure III-13) et la classification des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement (Figure III-41) ne se recouvrent que partiellement. Les provinces et départements qui présentaient des profils spatio-temporels similaires n'appartiennent pas forcément à la même classe d'évolution des zones *high-high* issues de la cartographie des LISA, et inversement. Ceci montre la complémentarité des analyses de l'évolution de la distribution de la population et des configurations spatiales des dynamiques de peuplement, qui vont à présent être croisées afin d'étudier les évolutions à venir des trajectoires de littoralisation des 39 aires d'étude. Analyser la littoralisation à travers les populations résidentes constitue une limite importante par rapport aux activités touristiques et à la population présente qui en sont consubstantielles. Néanmoins, l'utilisation des données de population résidente confère une profondeur historique à la rétrospective qui est indispensable pour analyser des dynamiques de longs termes. Face à la difficulté de caractériser les trajectoires territoriales, l'approche comparative fait ressortir les éléments de différenciation des trajectoires, et la création de la classification met en lumière des modèles d'évolution distincts. Cette typologie aide en outre à appréhender de façon holistique les évolutions des territoires. Elle est en conséquence bien appropriée pour l'analyse des trajectoires. Les résultats des deux analyses font apparaître des modèles d'évolution assez bien structurés spatialement et temporellement, confortant l'hypothèse H1 selon laquelle l'analyse des trajectoires puisse appuyer une prospective de l'évolution future des dynamiques de peuplement de ces espaces. **Ils valident surtout l'hypothèse H2 relative à l'existence de différents modèles d'évolution spatio-temporelle de peuplement sur les littoraux de l'Arc Latin. Les configurations locales jouent sur la manière dont la littoralisation s'exerce sur les espaces. Le processus présente des évolutions spatio-**

temporelles différenciées dans leurs formes spatiales, leurs intensités et leurs rythmes. La logique d'évolution des différentes évolutions du peuplement reste néanmoins la même : une logique de concentration littorale. Les trajectoires se différencient non seulement par l'avancement du processus de littoralisation mais aussi par l'emprise spatiale de la zone de concentration littorale (du petit pôle littoral à la grande région littorale), leurs dynamiques spatiales (mouvements intérieurs et parallèles au rivage), et leur caractère évolutif (rapidité ou inertie, intensité des changements dans la distribution de la population).

Chapitre IV. Prospective de la littoralisation de l'Arc Latin à partir de l'analyse des trajectoires de peuplement

L'analyse prospective de la littoralisation est basée sur l'analyse des trajectoires de peuplement et de leurs propriétés. La première étape consiste à renseigner chacune des propriétés des trajectoires – direction, stabilité, vitesse, stade – à partir d'analyses ou d'indicateurs, pour les 39 aires d'étude. Ces propriétés apportent des connaissances complémentaires sur les modes d'évolution du peuplement des différents espaces d'étude. Ces propriétés sont par la suite croisées afin de mettre en évidence les évolutions potentielles de la littoralisation de l'Arc Latin à travers l'identification de différents types d'espaces à enjeux : les espaces saturés, les espaces proches de la saturation, les espaces potentiels de déploiement intérieur anticipé et les espaces potentiels d'anthropisation continue des littoraux. L'approche consiste ainsi, à partir des trajectoires passées et actuelles, à qualifier les potentialités de maintien ou d'évolution des trajectoires. Les apports et limites de l'analyse des propriétés des trajectoires en prospective spatiale sont ensuite discutés, tant du point de vue méthodologique qu'en termes de perspectives pour l'action territoriale.

1. Analyse des propriétés des trajectoires

L'analyse rétrospective a mis l'accent sur deux aspects complémentaires de la trajectoire de peuplement : l'évolution de la distribution de la population et l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement. Les résultats obtenus sont à présent croisés pour informer chaque propriété de la trajectoire territoriale – direction, stade, stabilité et vitesse. La direction de la trajectoire, définie par la combinaison de son origine et de son orientation, nécessite de mobiliser et de croiser à la fois les évolutions de la distribution de la population et les évolutions spatiales des dynamiques de peuplement. Le stade et la stabilité sont étudiés en fonction de la direction de la trajectoire. L'analyse du stade, mesurant le niveau d'avancement de la dynamique en cours, est basée sur la distribution de la population. La stabilité, relative à la variabilité des dynamiques de peuplement, est quant à elle étudiée à partir de l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement. Enfin, la vitesse est définie à partir de deux indicateurs distincts, l'un est relatif à l'intensité de la croissance de la population et l'autre à la rapidité des évolutions spatiales.

1.1. Direction

1.1.1. Caractérisation de l'origine et de l'orientation des trajectoires

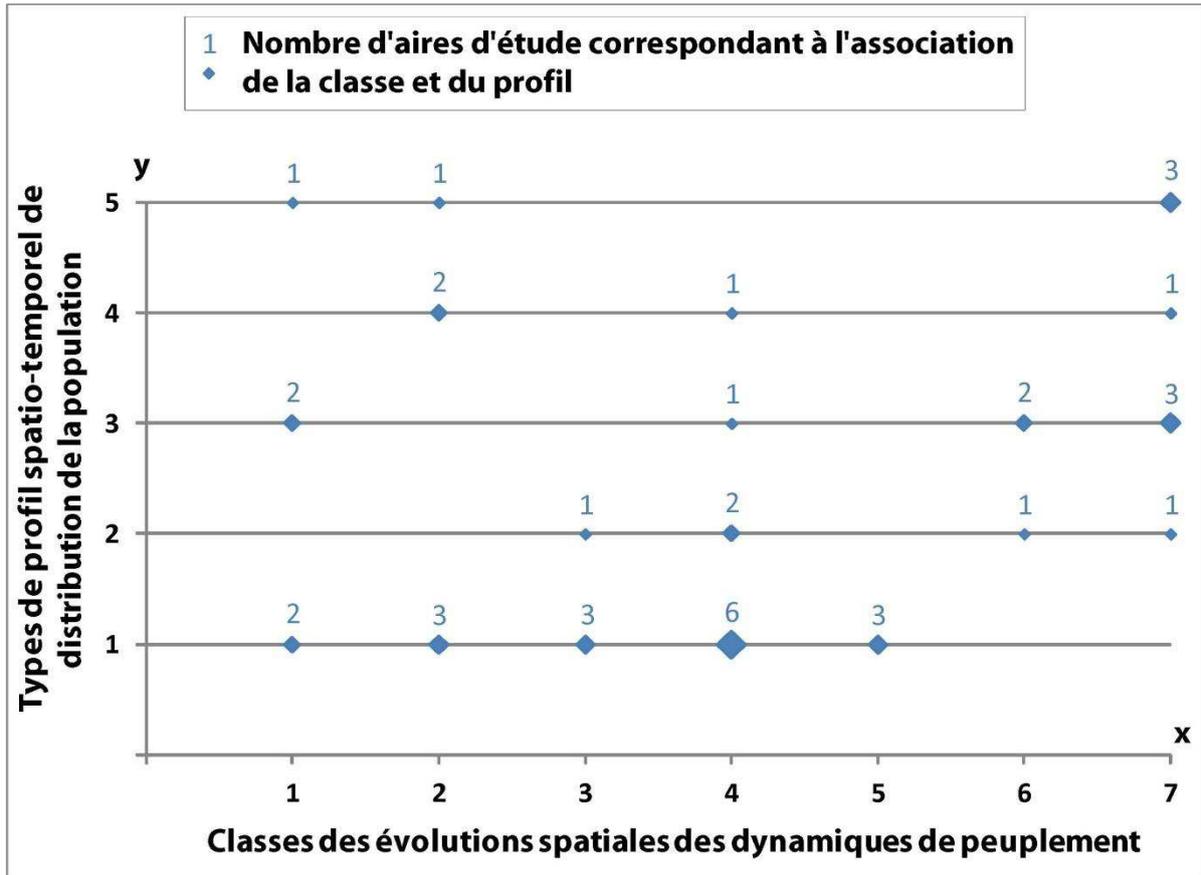
La direction des trajectoires est la propriété centrale pour la prospective spatiale des dynamiques de peuplement. En effet, elle indique la localisation potentielle des espaces où le développement futur de la population se fera de manière préférentielle. Ces espaces, dans le contexte de la littoralisation intense et avancée de l'Arc Latin, sont ainsi de potentiels espaces à enjeux. Leur développement pourrait aboutir à des situations préjudiciables de saturation, de densification continue du littoral, ou encore de report de la pression, que nous cherchons à anticiper par le travail de prospective.

Au sens géométrique du terme, la direction est définie par deux éléments : son origine, matérialisée par un point, et son orientation, représentée par un vecteur. Dans le contexte des trajectoires de peuplement, l'origine correspond aux espaces où la croissance de la population s'est concentrée dans le passé et jusqu'à présent. L'orientation se rapporte aux espaces vers lesquels se dirige la croissance. Par exemple, dans le cas d'un espace où la littoralisation est en cours de redéploiement, l'origine de la croissance est la zone littorale tandis que l'orientation est dirigée vers l'intérieur des terres. La direction est donc : *littoral vers intérieur*. Alors que l'orientation informe sur la localisation des espaces potentiellement à enjeux pour l'avenir, la nature des enjeux dépend de l'origine de la trajectoire, qui a donc également son importance. L'origine replace l'orientation dans la logique d'évolution de la trajectoire. Par exemple, un développement centré sur l'arrière-pays ne correspond pas à la même logique d'évolution, ni aux mêmes enjeux territoriaux, si sa provenance est issue de la zone littorale ou de l'intérieur des terres.

Nous analysons donc les directions des trajectoires en tant que combinaisons d'une origine et d'une orientation. Pour les caractériser, la typologie des profils spatio-temporels de distribution de la population (cf. Chapitre III.1) sera donc croisée avec la classification des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement (cf. Chapitre I.1). L'ensemble des profils et l'ensemble des classes contiennent en effet une information complémentaire sur l'origine et sur l'orientation de la trajectoire, le premier intégrant l'inertie du peuplement et le second se focalisant sur les variations relatives de la population, *via* les taux de croissance. Ce croisement aboutit à un nouveau classement des 39 aires d'étude, en fonction à la fois des structures spatiales de peuplement en place et des dynamiques de population qui s'y déroulent.

1.1.2. Lecture croisée des structures et dynamiques spatiales de peuplement

Pour permettre une lecture croisée des deux classements, un graphique est réalisé (Figure IV-1) où les classes des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement sont en abscisse, et les différents types de profil spatio-temporel de distribution de la population sont en ordonnée. Le nombre d'aires d'étude relatif à chaque association d'une classe et d'un profil apparaît en bleu au sein du graphique.



x : Classes des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement

- 1 - Zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres
- 2 - Concentration littorale en un pôle
- 3 - Concentration littorale en une frange progressant latéralement (ou stable)
- 4 - Redéploiement intérieur rapide à partir d'une frange littorale
- 5 - Redéploiement intérieur à partir d'une aire littorale sans déprise littorale
- 6 - Redéploiement intérieur à partir d'une grande région littorale avec déprise littorale
- 7 - Progression latérale (ou intérieure) à partir d'une grande région littorale

y : Types de profil spatio-temporel de distribution de la population

- 1 - Concentration de la population dans la bande 0-10 km
- 2 - Concentration dans la bande 0-10 km et début de déconcentration dans la bande 10-20 km
- 3 - Déconcentration vers l'intérieur des terres
- 4 - Concentration dans les bandes 0-10 km et 10-20 km
- 5 - Part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km

S.Liziard 2013

Figure IV-1. Croisement des deux classements et nombre d'aires d'étude relatif à chaque association

Dix-neuf associations apparaissent entre les différents types de profil spatio-temporel de distribution de la population et les diverses classes des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement. La double appartenance de chaque aire d'étude permet de replacer les dynamiques mises en évidence par l'évolution des zones *high-high* des LISA dans les différents contextes territoriaux que constituent les profils spatio-temporels de distribution de la population.

- La méthode permet de distinguer, au sein de la **classe 7**, relative à une progression latérale à partir d'une grande région littorale, les aires d'étude associées à une absence de logique spécifique de littoralisation de celles qui sont associées à un stade extrêmement avancé de littoralisation. En effet, dans les différents types de profil associés à la classe 7, se trouvent non seulement des distributions de la population correspondant à un redéploiement vers l'intérieur des terres (profils 2, 3 et 4) mais aussi le profil 5 dont la part maximale de population est située dans une autre bande que 0-10 km.
- Les profils spatio-temporels associés à la **classe 6**, qui correspond à un redéploiement intérieur à partir d'une grande région littorale avec déprise côtière, sont caractéristiques de stades de littoralisation généralement moins avancés. Il s'agit du profil 2, c'est-à-dire une concentration dans la bande 0-10 km avec un début de déconcentration vers la bande 10-20 km, et du profil 3, soit une déconcentration vers l'intérieur des terres.
- Les aires présentant un redéploiement intérieur à partir d'une aire littorale sans déprise littorale (**classe 5**) relèvent toutes du profil 1, à savoir une concentration de la population dans la bande 0-10 km. Cette dynamique semble ainsi symptomatique d'un stade de littoralisation encore moins avancé, car sans dynamique de déconcentration.
- La **classe 4**, correspondant à un redéploiement rapide vers l'intérieur des terres à partir d'une frange littorale, est associée à quatre profils spatio-temporels de distribution de la population. Cette diversité vient de la rapidité d'évolution du redéploiement, qui en conséquence associe la dynamique de la classe 4 à différents stades de littoralisation : une concentration dans la bande 0-10 km (profil 1), engageant éventuellement la bande 10-20 km (profil 4) ou avec un début de report dans la bande 10-20 km (profil 2), ou encore une déconcentration vers l'intérieur des terres (profil 3). Le type 1 reste cependant le plus représenté en combinaison avec la classe 4, puisque six aires d'étude affichent cette double appartenance.
- La **classe 3**, par la concentration de la population en une frange littorale progressant latéralement, correspond à un processus de constitution d'une conurbation littorale. Elle est en relation avec les profils 1 et 2, c'est-à-dire les distributions de population centrées sur le

littoral et n'engageant pas l'intérieur des terres. Elle traduit ainsi un processus de littoralisation n'ayant pas encore atteint de redéploiement intérieur.

- Les profils de distribution de la population en relation avec la **classe 2** montrent que la concentration en un petit pôle littoral n'est pas toujours signe d'une distribution de la population concentrée sur le littoral. Le pôle littoral peut correspondre à la croissance d'une ville ou d'une zone côtière dont la forte dynamique n'est pas partagée par le reste du littoral. La classe 2 est associée dans la plupart des cas aux profils 1 et 4, soit une concentration de la population dans la bande 0-10 km, débordant éventuellement sur la bande 10-20 km. La classe 2 est aussi associée au type 5, correspondant à une part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km, et qui implique l'influence d'autres processus que la littoralisation sur la distribution de la population.

- La **classe 1**, relative à une localisation intérieure de la zone de fort dynamisme démographique, peut à l'inverse correspondre à une distribution de la population concentrée dans la bande 0-10 km (type 1). Il s'agit d'espaces qui connaissent à la fois une concentration sur le littoral et de forts taux de croissance autour du chef-lieu qui est localisé à l'intérieur des terres. La classe 1 est aussi, de manière plus intuitive, associée aux types 3 et 5, qui représentent respectivement une déconcentration vers l'intérieur des terres et une part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km.

Considérés indépendamment l'un de l'autre, un profil spatio-temporel de distribution de la population ou une classe d'évolution spatiale des dynamiques du peuplement peuvent couvrir des situations ou des évolutions distinctes. Cette lecture croisée des structures et dynamiques spatiales de peuplement montre leur complémentarité pour caractériser l'évolution des littoraux de l'Arc Latin. Si les associations entre types de profil et classes ne sont pas exclusives, elles reflètent néanmoins une relation entre le niveau d'avancement de la littoralisation d'un territoire et ses dynamiques de peuplement. Ces 19 associations entre structures et dynamiques spatiales sont à présent mobilisées pour caractériser l'origine et l'orientation de chacune des 39 aires d'étude, et ainsi la direction de leur trajectoire.

1.1.3. Résultats : six directions de trajectoire

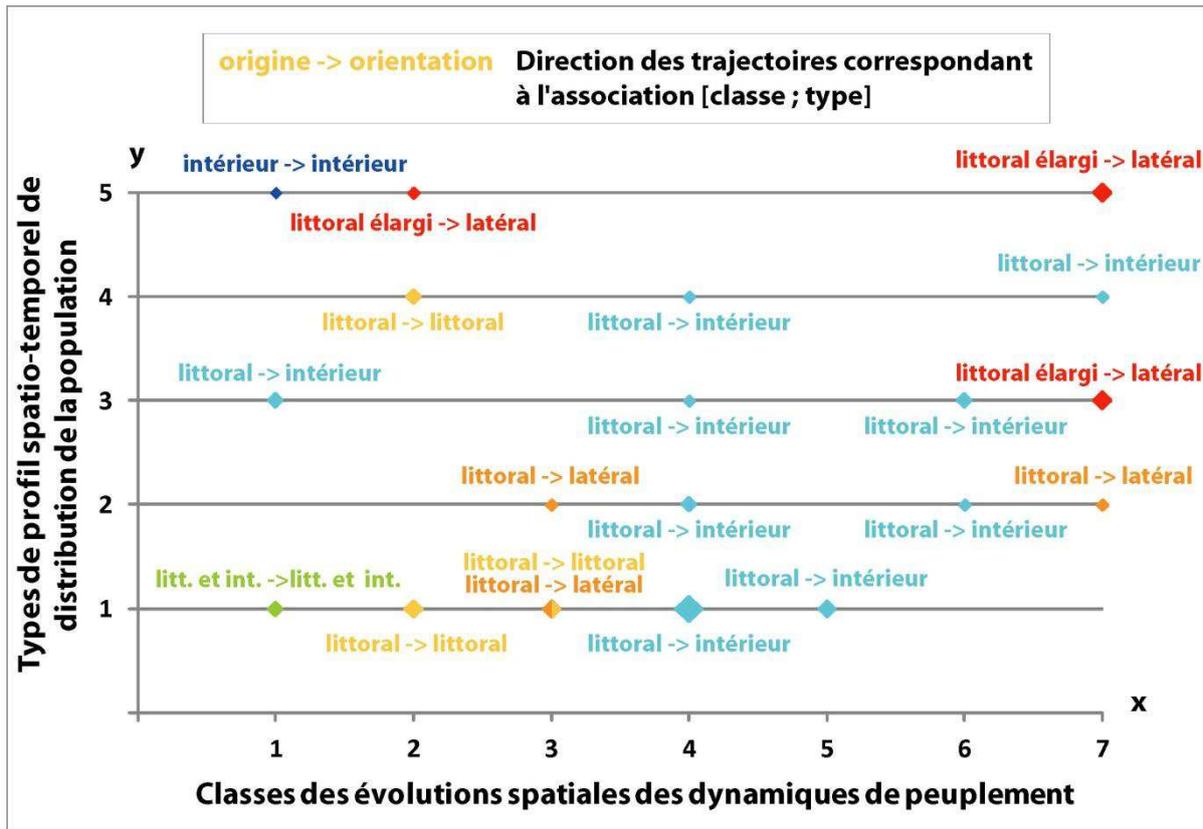
L'examen des 19 associations entre types de profil spatio-temporel de distribution de la population et classes d'évolution spatiale des dynamiques du peuplement fait apparaître quatre grandes origines et orientations. Les quatre origines sont le littoral, le littoral élargi, le littoral et l'intérieur, et l'intérieur uniquement. Le littoral désigne ici approximativement les dix premiers kilomètres à partir du rivage. Le littoral élargi indique une zone partant du littoral et allant plus à l'intérieur des terres, tandis que l'appellation « littoral et intérieur » fait

référence à deux pôles de développement disjoints. L'orientation peut être littorale, latérale, à la fois littorale et intérieure, et enfin intérieure seulement. L'orientation latérale traduit une évolution dont la progression suit le long du rivage, mais qui peut être située sur le littoral comme à l'intérieur des terres. Six directions apparaissent parmi les trajectoires des 39 aires d'étude à partir de la combinaison de ces origines et ces orientations (Tableau 3). Le littoral est l'origine de trois directions de trajectoire différentes : *depuis le littoral vers le littoral*, *depuis le littoral vers une zone latérale*, et *depuis le littoral vers l'intérieur des terres*. Le littoral élargi est uniquement associé à une orientation latérale. Les trajectoires ayant pour origine le littoral et l'intérieur des terres restent orientées vers le littoral et l'intérieur des terres. De façon similaire, les espaces ayant l'intérieur des terres pour origine du peuplement maintiennent une orientation intérieure.

Direction	Origine :			
	le littoral	le littoral élargi	le littoral et l'intérieur	l'intérieur des terres
Orientation : littorale	(A) depuis le littoral vers le littoral			
latérale	(B) depuis le littoral vers une zone latérale	(C) depuis le littoral élargi vers une zone latérale		
littorale et intérieure			(D) depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur	
intérieure	(E) depuis le littoral vers l'intérieur			(F) depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres

Tableau 3. Les six grandes directions des trajectoires résultant de la combinaison de leur origine et de leur orientation

La Figure IV-2 représente les directions des trajectoires qui ont été identifiées pour chaque association d'une classe d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement et d'un type de profil spatio-temporel de distribution de la population. Ces associations sont présentées sous la forme [classe ; type]. À chaque association correspond une direction de trajectoire, sauf pour le couple [3 ; 1] dont le détail va être précisé.



x : Classes des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement

- 1 - Zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres
- 2 - Concentration littorale en un pôle
- 3 - Concentration littorale en une frange latérale (ou stable)
- 4 - Redéploiement intérieur rapide à partir d'une frange littorale
- 5 - Redéploiement intérieur à partir d'une aire littorale sans déprise littorale
- 6 - Redéploiement intérieur à partir d'une grande région littorale avec déprise littorale
- 7 - Progression latérale (ou intérieure) à partir d'une grande région littorale

y : Types de profil spatio-temporel de distribution de la population

- 1 - Concentration de la population dans la bande 0-10 km
- 2 - Concentration dans la bande 0-10 km et début de déconcentration dans la bande 10-20 km
- 3 - Déconcentration vers l'intérieur des terres
- 4 - Concentration dans les bandes 0-10 km et 10-20 km
- 5 - Part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km

S.Liziard 2013

Figure IV-2. Directions des trajectoires correspondant à chaque association d'une classe d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement avec un type de profil spatio-temporel de distribution de la population

(A) Trajectoires caractérisées par la direction « depuis le littoral vers le littoral » :

Les couples [2 ; 1] et [2 ; 4] sont relatifs à des trajectoires ayant pour direction « depuis le littoral vers le littoral ». Les dynamiques de concentration littorale en un *petit pôle* (classe 2) s'associent à une distribution de la population se concentrant dans la bande 0-10 km (type 1) ou dans les bandes 0-10 km et 10-20 km (type 4). Le couple [2 ; 1] correspond aux Baléares, à

Gérone et à Imperia. Les aires d'étude caractérisées par l'association [2 ; 4] sont Murcie et Grosseto : la croissance de la bande 10-20 km, bien que positive en part de population comme en termes de densité, reste de très faible ampleur. Enfin, une aire d'étude appartenant au couple [3 ; 1] est aussi marquée par une trajectoire de direction « *depuis le littoral vers le littoral* ». Il s'agit de la province d'Olbia-Tempio, qui se distingue du reste des individus de la classe 3 car sa *frange littorale* ne progresse pas latéralement.

(B) Trajectoires caractérisées par la direction « *depuis le littoral vers une zone latérale* » :

Les couples [3 ; 1] et [3 ; 2] correspondent à des trajectoires ayant pour direction « *depuis le littoral vers une zone latérale* ». Deux aires d'étude (Castellón et l'ensemble Ogliastro et Nuoro) appartiennent au couple [3 ; 1], où les dynamiques de concentration littorale en une *frange progressant latéralement* sont couplées à une distribution de la population se concentrant dans la bande 0-10 km. Le couple [3 ; 2] ne renvoie qu'à une seule aire d'étude mais celle-ci rassemble les provinces de Catanzaro, Vibo Valentia et Reggio de Calabre. Les dynamiques de concentration littorale en une *frange progressant latéralement* s'exercent dans un contexte de concentration de la population dans la bande 0-10 km et de début de déconcentration vers la bande 10-20 km pour cet ensemble. L'évolution latérale se fait dans les deux cas sur le littoral. C'est aussi la situation de l'unique aire d'étude relative au couple [7 ; 2]. Cette aire d'étude est composée de plusieurs provinces italiennes : Cagliari, Carbonia-Iglesias et le Medio-Campidano. Dans un contexte ici aussi de concentration de la population dans la bande 0-10 km et de début de déconcentration vers la bande 10-20 km, on y observe une progression latérale sous forme d'un *petit pôle littoral latéral*. Ces deux éléments nous amènent à caractériser la trajectoire du couple [7 ; 2] par la direction « *depuis le littoral vers une zone latérale* ».

(C) Trajectoires caractérisées par la direction « *depuis le littoral élargi vers une zone latérale* » :

Les couples [7 ; 3] et [7 ; 5] correspondent à la direction « *depuis le littoral élargi vers une zone latérale* ». En effet, la distribution de la population à laquelle est associée leur progression latérale à partir d'une *grande région littorale* (classe 7) est caractérisée par une littoralisation plus avancée, comme une déconcentration vers l'intérieur des terres (couple [7 ; 3] : Barcelone, Caserte et Naples, Valence) ou à une part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km (couple [7 ; 5] : Gard et Hérault, Latina et Rome, Pyrénées-Orientales). La population n'est donc pas seulement concentrée sur la bande littorale, mais sur un littoral élargi, et progresse latéralement à partir de cette zone. À ces deux couples, nous avons ajouté l'association [2 ; 5]. Les évolutions spatiales des dynamiques de peuplement de son unique aire d'étude, le département de l'Aude, le situent à la marge de la classe 2 (définie

par une concentration littorale en un pôle). En effet, l'examen du détail des évolutions de ses zones *high-high* montre la succession d'une *zone rétro-littorale*, d'une *aire littorale*, d'un *petit pôle littoral* et d'une *aire littorale latérale* (cf. Figure III-31). Même si on peut effectivement y lire une concentration vers un *pôle littoral*, la diversité de ses évolutions et la distribution de sa population, qui atteint une part maximale dans la bande 10-20 km, justifient l'intégration de l'Aude aux trajectoires caractérisées par la direction « *depuis le littoral élargi vers une zone latérale* ». Ce cas montre que si l'orientation de certaines aires d'étude peut parfois être en marge de leur classe d'appartenance, le croisement avec les profils de distribution de la population peut faire ressortir leur singularité.

(D) Trajectoires caractérisées par la direction « *depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur* » :

Seul le couple [1 ; 1] correspond à une trajectoire caractérisée par la direction « *depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur* ». Deux provinces, Grenade et Lucques, relèvent de cette association. Elles présentent, dans un contexte de concentration de la population dans la bande 0-10 km (type 1), une dynamique de peuplement située à l'intérieur des terres (classe 1). Nous avons précédemment signalé que cette apparente contradiction singularise des espaces marqués à la fois par une concentration de la population sur le littoral et un développement autour d'un chef-lieu situé à l'intérieur des terres. Ce développement concernant la bande 30-40 km est sans relation avec la bande 0-10 km, qui conserve en parallèle un dynamisme important. C'est pourquoi nous avons caractérisé les trajectoires de ces espaces par la double direction « *depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur* ».

(E) Trajectoires caractérisées par la direction « *depuis le littoral vers l'intérieur des terres* » :

Les trajectoires ayant pour direction « *depuis le littoral vers l'intérieur des terres* » correspondent à neuf associations différentes : [1 ; 3], [4 ; 1], [4 ; 2], [4 ; 3], [4 ; 4], [5 ; 1], [6 ; 2], [6 ; 3] et [7 ; 4]. On y trouve ainsi tous les couples basés sur un redéploiement intérieur rapide à partir d'une frange littorale (classe 4). Ce redéploiement peut ainsi être associé :

- à une distribution de la population se concentrant dans la bande 0-10 km (couple [4 ; 1] : Alicante, l'ensemble Caltanissetta, Agrigente, Trapani et Palerme, l'ensemble Cosenza et Crotona, Oristano, Savone, et enfin Tarragone),
- à une distribution de la population se concentrant dans la bande 0-10 km avec un début de déconcentration dans la bande 10-20 km (couple [4 ; 2] : Cadix, l'ensemble Haute Corse et Corse du Sud),

- ou encore à une population se concentrant dans les bandes 0-10 km et 10-20 km (couple [4 ; 4] : l'ensemble La Spezia et Massa-Carrara),
- ou enfin à une distribution de la population se déconcentrant vers l'intérieur des terres (couple [4 ; 3] : Gênes).

D'autre part, le couple [5 ; 1] renvoie au redéploiement intérieur à partir d'une aire littorale sans déprise littorale (classe 5) dans un contexte de distribution de la population se concentrant dans la bande 0-10 km (type 1). Il correspond aux provinces d'Almeria, de Malaga et de Sassari. Il est à noter que pour les deux couples où figure le type 1 (couples [4 ; 1] et [5 ; 1]), le redéploiement intérieur des dynamiques est récent. Il date généralement des années 1980, ce qui explique qu'il n'a encore eu que peu d'effets sur l'évolution de la distribution de la population, surtout que la bande 0-10 km est encore très dynamique. L'ensemble Potenza et Salerne (couple [7 ; 4]) se distingue des autres individus de la classe 7 car sa progression n'est pas latérale, mais tournée vers l'intérieur des terres.

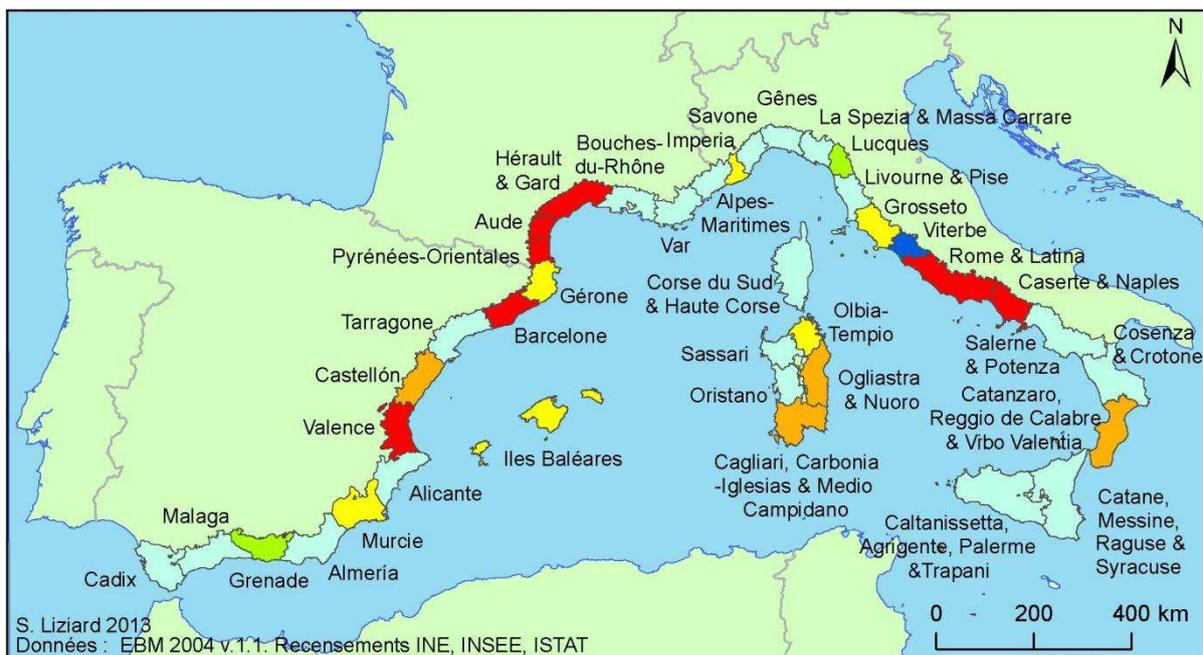
Pour les couples suivants, le mouvement vers l'intérieur des terres n'intègre plus le littoral. Cette direction qualifie ainsi les deux couples basés sur un redéploiement intérieur à partir d'une grande région littorale avec déprise littorale (classe 6). Ils associent cette dynamique à une distribution de la population se concentrant dans la bande 0-10 km et dévoilant un début de déconcentration vers la bande 10-20 km (couple [6 ; 2] : l'ensemble Messine, Catane, Syracuse, Raguse) ou à une déconcentration vers l'intérieur des terres (couple [6 ; 3] : Alpes-Maritimes, Livourne et Pise). Les trajectoires du couple [1 ; 3] se caractérisent aussi par la direction « *depuis le littoral vers l'intérieur des terres* ». Ce couple combine une distribution de la population se déconcentrant vers l'intérieur des terres (type 3) et une zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres (classe 1). Les Bouches-du-Rhône et le Var sont sujets de cette double appartenance. L'importance de la population sur le littoral, tant en part de population qu'en densité, indique qu'une littoralisation a effectivement pris place antérieurement à la période d'étude.

(F) Trajectoires caractérisées par la direction « *depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres* » :

Un seul couple et une seule province correspondent à une trajectoire caractérisée par la direction « *depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres* ». Il s'agit du couple [1 ; 5] et de Viterbe. La zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres (classe 1) est associée à une distribution de la population dont la part maximale est située elle-aussi à l'intérieur des terres (type 5).

La cartographie des directions caractérisant les trajectoires de peuplement des 39 aires d'étude (Figure IV-3) fait apparaître une première régionalisation relative aux évolutions du peuplement de l'Arc Latin. La direction informe sur les dynamiques passées, par l'origine de

la trajectoire, mais aussi sur les dynamiques actuelles et à venir par l'orientation des trajectoires, dans le cas où celles-ci se maintiendraient. La cohérence de certains des regroupements apparaît de manière évidente (régions Languedoc-Roussillon, Provence-Alpes-Côte d'Azur, Golfe de Gênes ou encore Sicile). À l'inverse, il est parfois difficile de voir la cohérence pour des aires d'étude partageant la même direction, pour la direction E notamment qui rassemble 19 des aires d'étude. Ainsi, près de la moitié des aires d'étude ont une trajectoire de peuplement caractérisée par une direction « depuis le littoral vers l'intérieur des terres ». Vient ensuite la direction C (« depuis le littoral élargi vers une zone latérale ») puis les directions A (« depuis le littoral vers le littoral ») et B (« depuis le littoral vers une zone latérale »). Les aires d'étude dont les trajectoires sont définies par les directions D (« depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur ») et F (« depuis l'intérieur vers l'intérieur ») sont bien plus rares. Ces résultats montrent la généralisation des processus de littoralisation sur l'Arc Latin.



Trajectoires territoriales de peuplement caractérisées par la direction :

- A " depuis le littoral vers le littoral "
- B " depuis le littoral vers une zone latérale "
- C " depuis le littoral élargi vers une zone latérale "
- D " depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur "
- E " depuis le littoral vers l'intérieur des terres "
- F " depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres "

Figure IV-3. Directions des trajectoires de peuplement des 39 aires d'étude

Les autres propriétés de la trajectoire vont permettre d'affiner cette connaissance sur les évolutions à venir des dynamiques de peuplement de l'Arc Latin en caractérisant

notamment leur avancement et ainsi les potentiels reports de la densification et les évolutions possibles des trajectoires.

1.2. Stade

1.2.1. Mesure de l'avancement des trajectoires en fonction du potentiel de densification

La direction des trajectoires indique déjà partiellement le stade de développement du processus de littoralisation, puisqu'aux différentes phases du processus correspondent plusieurs directions vers lesquelles s'oriente la croissance de la population. Il reste néanmoins à caractériser l'avancement de la trajectoire au sein de ces différentes directions d'évolution. La concentration littorale peut par exemple atteindre un stade plus ou moins avancé. Le stade indique ici le niveau d'avancement atteint pour une direction donnée et caractérise le potentiel du territoire pour poursuivre dans cette direction. Un stade avancé correspond au fait que la trajectoire arrive au bout de l'évolution définie par sa direction. Un territoire atteignant un stade avancé dans son évolution actuelle est susceptible de connaître un ralentissement de sa dynamique ou de nouvelles évolutions. Le stade est une propriété importante pour qualifier les trajectoires de littoralisation étant donné que, lorsque le littoral atteint un niveau avancé de développement, le processus de concentration fait place à un redéploiement spatial de la croissance. Le stade des trajectoires de peuplement est ainsi traduit par le niveau de densification atteint dans la ou les zones de développement passées et actuelles. Il caractérise le potentiel du territoire pour maintenir sa direction ou la faire évoluer. Il est par conséquent analysé au sein des zones de densification passées et actuelles désignées par la direction de la trajectoire. L'information sur le stade atteint permet de qualifier le niveau de progression de la trajectoire et l'éventuelle imminence de phénomènes de report.

Pour mesurer le niveau d'avancement de la densification, nous employons les densités de population, qui ont été étudiées dans les bandes de 10 km parallèles au rivage. Les densités permettent de caractériser l'intensité du peuplement atteint à la dernière date de recensement étudiée (2008 pour l'Espagne et l'Italie, 2009 pour la France). En outre, le stade de la trajectoire ne dépend pas simplement de l'intensité du peuplement, mais aussi de contraintes locales susceptibles de limiter le potentiel pour une poursuite de la densification et pour le maintien de la trajectoire dans sa direction d'évolution actuelle. La présence de ce type de contraintes limite plus précocement les possibilités de progression de la trajectoire dans sa direction. Le stade de la trajectoire atteint alors un niveau avancé pour une densité moindre, puisque le potentiel de densification est réduit. Lors du commentaire des profils spatio-temporels de distribution de la population, le relief est apparu de façon récurrente comme un déterminant majeur des formes de littoralisation. Les larges plaines littorales ont généralement

une population moins fortement concentrées sur la côte que les territoires littoraux avec d'importantes contraintes topographiques. Le relief agit ainsi comme une contrainte sur le déploiement de la distribution de la population à partir du littoral et sur le potentiel de densification des zones situées notamment à l'intérieur des terres. Cette contrainte n'est pas déterminante au sens strict du terme, mais il apparaît indispensable d'intégrer le relief pour expliquer des différentiels de densité très marqués entre les bandes 0-10 km et 10-20 km qui pourtant n'induisent pas de forts reports vers l'intérieur des terres. Dans des provinces comme Imperia, une topographie contraignante dans la bande 10-20 km favorise une plus grande concentration de la population dans la bande 0-10 km. Une densification avancée de la bande 0-10 km est susceptible de connaître un ralentissement de sa dynamique lorsque le redéploiement vers l'intérieur des terres est contraint par le relief, comme cela a pu être le cas à Gênes.

Pour définir le stade de chaque aire d'étude, nous caractérisons donc l'avancement de la densification au regard de son potentiel restant. Nous croisons pour cela le niveau de densité atteint et le niveau de contrainte topographique. La contrainte topographique est définie par l'altitude, une valeur importante s'opposant à la faible élévation du littoral. Les valeurs de densité et d'altitude sont examinées dans la ou les bandes impliquées dans la direction de la trajectoire, puisque le stade est étudié en fonction des directions. Selon les directions des trajectoires des 39 aires d'étude, les espaces de densification et donc les bandes étudiées ne sont donc pas les mêmes :

- pour les directions « *depuis le littoral vers le littoral* » (A) et « *depuis le littoral vers une zone latérale* » (B), c'est uniquement la bande 0-10 km qui est prise en compte, le déplacement latéral s'effectuant sur cette même zone ;
- pour les directions « *depuis le littoral élargi vers une zone latérale* » (C) et « *depuis le littoral vers l'intérieur des terres* » (E), sont prises en compte les bandes 0-10 km et 10-20 km ;
- pour la direction « *depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur* » (D), la bande 0-10 km et la bande 30-40 km, puisque c'est celle où se concentre la population à l'intérieur des terres pour les deux aires d'étude concernées (Grenade et Lucques) ;
- et pour la direction « *depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres* » (F), on prend en compte la bande où se concentre la population à l'intérieur des terres, c'est-à-dire la bande 30-40 km pour Viterbe, qui est la seule province dont la trajectoire présente cette direction.

Le croisement des valeurs de densité et d'altitude moyennes pour chacune des bandes des 39 aires d'étude montre que plus l'altitude est élevée, plus la variabilité des densités se réduit et se concentre dans des valeurs basses (Figure IV-4). L'observation du nuage de points laisse apparaître deux paliers dans la distribution des individus. D'une part, tous les individus

situés à plus de 900 m d'altitude ont moins de 100 habitants/km². D'autre part, tous les individus situés à plus de 450 m d'altitude ont une densité inférieure à 300 habitants/km².

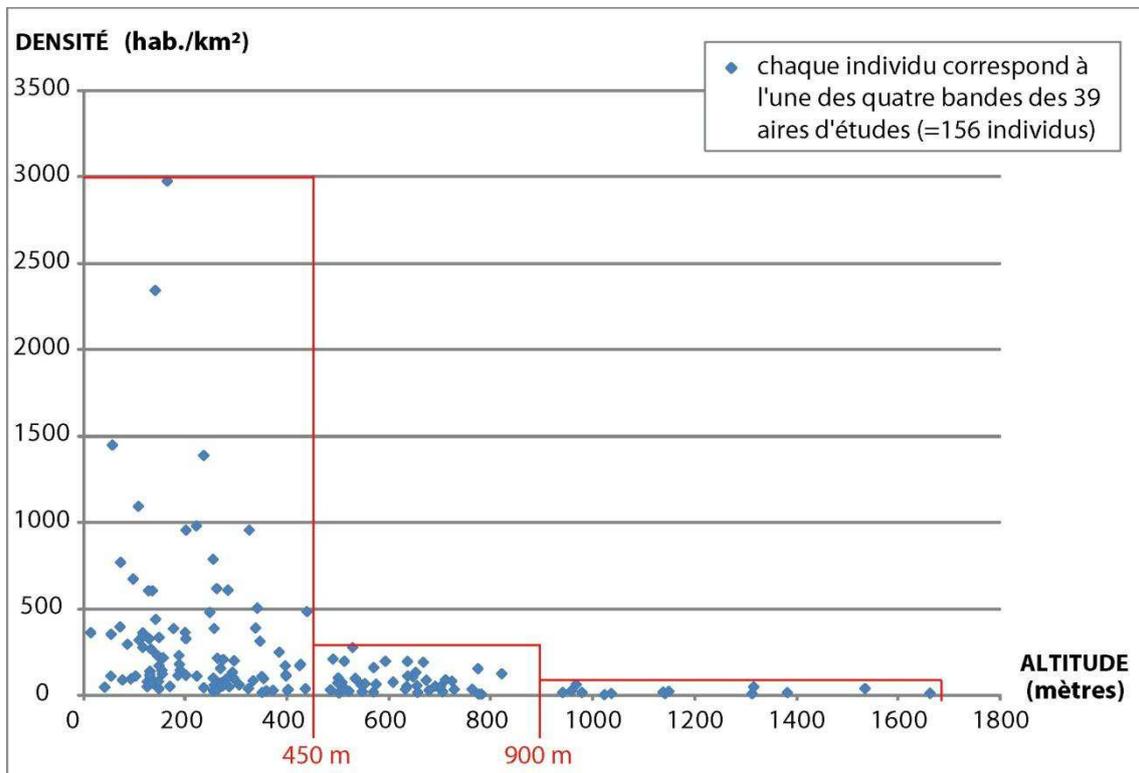


Figure IV-4. Structuration des densités de population en fonction de l'altitude

Nous employons ces valeurs structurantes comme seuils pour définir trois niveaux de contrainte topographique : l'absence de contrainte topographique (0 à 450 m d'altitude), la présence de contrainte topographique (450 à 900 m d'altitude) et une très forte contrainte topographique (plus de 450 m d'altitude). Les seuils de densité sont fixés en fonction de ce que nous considérons, compte tenu de l'échelle d'analyse et de l'aire d'étude, comme étant un niveau de densification très faible (0 à 50 hab./km²), peu avancé (50 à 200 hab./km²), moyen (200 à 500 hab./km²) ou avancé (plus de 500 hab./km²). Le croisement des différents niveaux de densité et d'altitude (Tableau 4) permet de caractériser les possibilités de densification et de qualifier le stade de la trajectoire. Par exemple, pour toute densité inférieure à 50 habitants par km², les possibilités de densification sont importantes quelle que soit l'altitude. Le stade est par conséquent peu avancé. Pour les densités comprises entre 50 et 200 habitants par km², les possibilités de densification restent importantes en l'absence de contrainte topographique. Elles sont plus restreintes en présence d'une contrainte topographique. Ainsi l'avancement est dit moyen pour les altitudes comprises entre 450 et 900 m et avancé pour les altitudes supérieures à 900 m. La même logique est appliquée pour les deux classes de densité suivantes, avec un rôle plus contraignant de l'altitude pour les densités les plus fortes. Par exemple, pour une altitude inférieure à 450 m, l'avancement est moyen pour les densités

comprises entre 200 et 500 habitants par km² et fort pour les densités supérieures à 500 habitants par km². Du fait de la structuration des densités par les altitudes, aucun espace ne présente à la fois une densité et une altitude élevées.

	Absence de contrainte topographique (0 à 450 m d'altitude)	Contrainte topographique (450 à 900 m d'altitude)	Très forte contrainte topographique (+ de 900 m d'altitude)
Très faible densité (inférieure à 50 hab./km²)	→ Possibilités de densification importantes Stade peu avancé	→ Possibilités de densification importantes Stade peu avancé	→ Possibilités de densification importantes Stade peu avancé
Densification peu avancée (50 à 200 hab./km²)	→ Possibilités de densification importantes Stade peu avancé	Avancement moyen	→ Possibilités de densification restreintes Stade avancé dans la trajectoire
Densité moyenne (200 à 500 hab./km²)	Avancement moyen	→ Possibilités de densification restreintes Stade avancé dans la trajectoire	Cas non existant
Densification très avancée (+ de 500 hab./km²)	→ Possibilités de densification restreintes Stade avancé dans la trajectoire	Cas non existant	Cas non existant

Tableau 4. Les trois niveaux de densité et de contrainte topographique définissant les possibilités de densification et le stade des trajectoires

Lorsque le stade de la trajectoire est analysé sur deux bandes (directions C, D et E), il est déterminé à partir de la combinaison de leurs deux stades de densification (Tableau 5). Dans cette combinaison, on examine si les deux stades sont plutôt avancés ou peu avancés. Le stade est moyennement avancé dans le cas où les deux bandes ont un avancement moyen.

Stade de la bande 0-10 km	Stade de la bande 10-20 km (ou 30-40 km pour la direction D)	Stade de l'ensemble
Avancé	Avancé	Avancé
Avancé	Moyen	Avancé
Moyen	Avancé	Avancé
Moyen	Moyen	Moyen
Moyen	Peu avancé	Peu avancé
Peu avancé	Moyen	Peu avancé
Peu avancé	Peu avancé	Peu avancé

Tableau 5. Combinaison des stades de deux bandes pour définir le stade de l'ensemble

1.2.2. Résultats : trois niveaux d'avancement

Les cartes de densité (Figure IV-5) et d'altitude (Figure IV-6) des bandes parallèles au rivage des 39 aires d'étude montrent que les fortes densités se situent généralement dans les zones les moins contraintes par le relief. Néanmoins, il existe des zones dont les densités sont peu élevées et qui appartiennent à la classe d'altitude la plus basse. C'est ce potentiel de densification que notre indicateur du stade de la trajectoire met en évidence au sein des bandes concernées par le développement de l'aire d'étude, définies par la direction de la trajectoire.

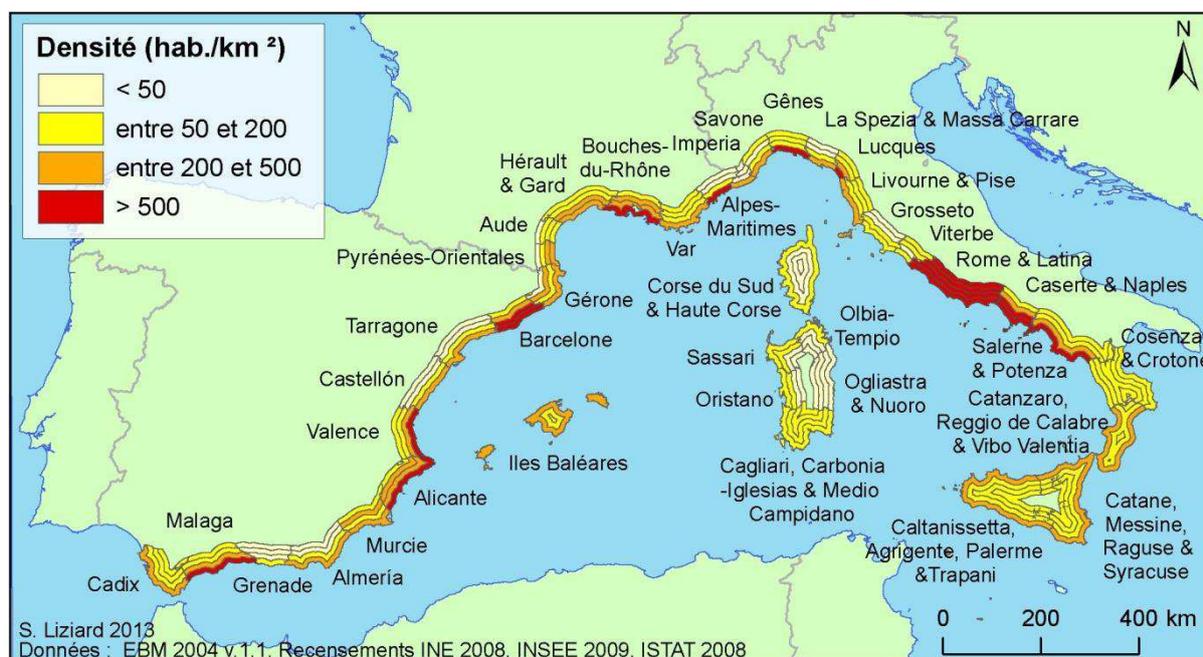


Figure IV-5. Densité des bandes parallèles au rivage des 39 aires d'étude à la dernière date de recensement étudiée (2008 pour l'Espagne et l'Italie, 2009 pour la France)



Figure IV-6. Altitude des bandes parallèles au rivage des 39 aires d'étude

L'ensemble des résultats figurant dans les tableaux suivants (Tableau 6 à Tableau 11) montre qu'il existe bien une certaine relation entre le niveau de densification atteint et la direction de la trajectoire. Les trajectoires A (*depuis le littoral vers le littoral*) et B (*depuis le littoral vers une zone latérale*) ne sont jamais caractérisées par un stade avancé (Tableau 6 et Tableau 7). La direction d'une trajectoire est donc en partie représentative de son stade d'avancement. L'indicateur de stade permet néanmoins de distinguer, au sein des aires d'étude relevant de la direction A et B, des trajectoires plus ou moins avancées par l'intermédiaire des stades « peu avancé » et « avancement moyen ». Ces aires d'étude exposent ainsi un potentiel plutôt important pour que la trajectoire maintienne sa direction actuelle, c'est-à-dire une densification du littoral, sans la faire évoluer.

	Bande 0-10 km		
	Densité	Altitude	Stade
Grosseto	[50 ; 200]	< 450	Peu avancé
Olbia-Tempio	[50 ; 200]	< 450	Peu avancé
Baléares	[200 ; 500]	< 450	Moyen
Gérone	[200 ; 500]	< 450	Moyen
Imperia	[200 ; 500]	< 450	Moyen
Murcie	[200 ; 500]	< 450	Moyen

Tableau 6. Stade des trajectoires de direction A (depuis le littoral vers le littoral)

	Bande 0-10 km		
	Densité	Altitude	Stade
Ogliastra et Nuoro	< 50	< 450	Peu avancé
Cagliari, Carbonia-Iglesias, Medio Campidano	[50 ; 200]	< 450	Peu avancé
Castellón	[200 ; 500]	< 450	Moyen
Catanzaro, Reggio de Calabre, Vibo Valentia	[200 ; 500]	< 450	Moyen

Tableau 7. Stade des trajectoires de direction B (depuis le littoral vers une zone latérale)

Les trajectoires de direction C, allant *depuis le littoral élargi vers une zone latérale*, sont fréquemment caractérisées par un stade avancé (Tableau 8). On y trouve de grandes métropoles qui sont très denses même dans la bande 10-20 km. L'ensemble composé des provinces de Rome et Latina a la particularité d'avoir un stade avancé pour les deux bandes suivantes (20-30 km et 30-40 km), alors que pour les autres aires d'étude il est faible ou moyen. Cela s'explique par la présence de la capitale sur les trois dernières bandes et de sa population qui dépasse les deux millions et demi d'habitants.

	Bande 0-10 km			Bande 10-20 km			Ensemble
	Densité	Altitude	Stade	Densité	Altitude	Stade	Stade
Aude	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Gard et Hérault	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	Moyen
Pyrénées-Orientales	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	Moyen
Valence	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	Avancé
Barcelone	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	Avancé
Caserte et Naples	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	Avancé
Rome et Latina	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	Avancé

Tableau 8. Stade des trajectoires de direction C (depuis le littoral élargi vers une zone latérale)

La proportion d'aires d'étude ayant un stade avancé est moins importante pour la direction E (*depuis le littoral vers l'intérieur des terres*), qui correspond ainsi à des stades plus variés (Tableau 9). En effet, la moitié des aires d'étude dont la trajectoire suit cette direction se définit par un stade peu avancé. Cela montre la propension des territoires peu denses à initier une dynamique de densification vers l'intérieur des terres plutôt qu'un développement latéral.

	Bande 0-10 km			Bande 10-20 km			Ensemble
	Densité	Altitude	Stade	Densité	Altitude	Stade	Stade
Corse du Sud et Haute Corse	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	< 50	[450 ; 900]	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Oristano	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Sassari	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Cosenza et Crotona	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Peu avancé
Cadix	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Caltanissetta, Agrigente, Palerme et Trapani	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Livourne et Pise	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Tarragone	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Var	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Almeria	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Moyen
Catane, Messine, Syracuse et Raguse	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Moyen
La Spezia et Massa-Carrara	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Moyen
Savone	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Moyen
Salerno et Potenza	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	[200 ; 500]	[450 ; 900]	<i>Avancé</i>	Avancé
Alicante	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	Avancé
Bouches-du-Rhône	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	[200 ; 500]	< 450	<i>Moyen</i>	Avancé
Alpes-Maritimes	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Avancé
Gênes	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Avancé
Malaga	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	[200 ; 500]	[450 ; 900]	<i>Avancé</i>	Avancé

Tableau 9. Stade des trajectoires de direction E (depuis le littoral vers l'intérieur des terres)

En ce qui concerne les zones dont la trajectoire de direction E atteint un stade avancé, il ne s'agit pas ici d'une limite pour le maintien de la trajectoire vers l'intérieur des terres. L'indicateur de stade d'avancement caractérise en effet le potentiel de densification des bandes 0-10 km et 10-20 km, mais pas celui des bandes 20-30 km et 30-40 km. Or nous avons observé que les bandes 20-30 km et 30-40 km de ces aires d'étude sont marquées soit par un stade peu avancé, soit par un avancement moyen, et ont donc toutes des possibilités de

poursuite de la trajectoire vers l'intérieur des terres. L'indicateur de stade d'avancement définit le niveau de densification dans les deux premières bandes, qui sont celles où se matérialisent actuellement les redéploiements vers l'intérieur des terres en termes de densité. Il caractérise ainsi le potentiel de poursuite de la densification dans les deux premières bandes. S'il est avancé, il traduit la possibilité d'une évolution de la trajectoire vers les bandes 20-30 et 30-40 km, mais cette évolution ne correspond pas à un changement dans l'orientation de la trajectoire, qui va toujours vers l'intérieur des terres.

Les aires d'étude de direction D ont la particularité de présenter deux zones distinctes de développement, qui sont comprises dans les bandes 0-10 km et 30-40 km. Les faibles densités de la province de Grenade lui confèrent un stade peu avancé, quelle que soit la bande considérée (Tableau 10). Les possibilités de densification dans ces deux bandes sont par conséquent élevées. Le stade est avancé pour la province de Lucques, qui combine un stade avancé pour la bande 0-10 km par son importante densité et un stade moyennement avancé pour la bande 30-40 km.

	Bande 0-10 km			Bande 30-40 km			Ensemble
	Densité	Altitude	Stade	Densité	Altitude	Stade	Stade
Grenade	[50 ; 200]	< 450	<i>Peu avancé</i>	< 50	> 900	<i>Peu avancé</i>	Peu avancé
Lucques	> 500	< 450	<i>Avancé</i>	[50 ; 200]	[450 ; 900]	<i>Moyen</i>	Avancé

Tableau 10. Stade des trajectoires de direction D (depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur)

Enfin, concernant les trajectoires suivant une direction de type F, les possibilités de densification à l'intérieur des terres restent importantes pour Viterbe (Tableau 11).

	Bande 30-40 km		
	Densité	Altitude	Stade
Viterbe	[50 ; 200]	< 450	Peu avancé

Tableau 11. Stade des trajectoires de direction F (depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres)

1.3. Stabilité

1.3.1. Identification des écarts par rapport à la direction des trajectoires

Analyser la stabilité consiste à déceler les marqueurs d'instabilité au sein de leur trajectoire. Il s'agit d'examiner la variabilité des trajectoires par rapport à leur logique d'évolution. Afin de mettre en évidence cette variabilité, l'analyse de la stabilité des trajectoires de peuplement est basée sur l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement. On recherche la présence d'écarts dans l'évolution des zones *high-high* des LISA, par rapport à la logique d'évolution donnée par la direction des

trajectoires. Ces écarts peuvent se traduire par une dynamique contraire à la direction d'évolution, ou bien par une pause, c'est-à-dire un arrêt temporaire dans la dynamique d'évolution. Une dynamique contraire à la direction d'évolution consisterait par exemple, pour une trajectoire allant du littoral vers le littoral, en une phase où la zone *high-high* serait située à l'intérieur des terres. Ces écarts peuvent traduire l'existence d'une autre dynamique de peuplement prenant temporairement le pas sur la dynamique de littoralisation, qui devient quant à elle secondaire. Les arrêts dans la dynamique de peuplement se matérialisent au niveau des configurations spatiales issues des LISA par une *absence de structure high-high*.

L'instabilité peut correspondre à une certaine sensibilité ou à un important degré de liberté de la trajectoire. Nous considérons ainsi l'instabilité des trajectoires comme un facteur d'incertitude sur le devenir des trajectoires et notamment sur leurs directions actuellement observées. Cette incertitude étant difficile à mesurer ou même à qualifier, nous nous limitons à l'identification de la présence d'écarts – pauses et changements d'orientation temporaires – par rapport aux directions suivies par les trajectoires. L'analyse de la stabilité pourrait mettre en évidence d'importantes déviations dans les trajectoires, mais les précédentes analyses ont montré l'absence de véritable bifurcation dans l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement. L'inconstance des trajectoires définies ici comme instables est donc relativement mesurée, par rapport à des trajectoires dont le comportement serait caractérisé par de forts revirements.

1.3.2. Résultats : trois formes d'instabilité

Pour chaque aire d'étude, nous avons examiné la présence d'écarts, sous forme de pause ou de dynamique contraire à la direction de la trajectoire (Figure IV-7). Certaines directions correspondent à des trajectoires plus stables que d'autres. Les trajectoires suivant la direction B (*depuis le littoral vers une zone latérale*) sont toutes stables, alors que toutes celles qui suivent les directions A (*depuis le littoral vers le littoral*), D (*depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur*) et F (*depuis l'intérieur des terres*) présentent une certaine instabilité. L'instabilité des trajectoires de direction A, D et F est liée à la présence de configurations spatiales correspondant à une *absence de structure high-high*. Les autres décennies que celles présentant une *absence de regroupement high-high* sont caractérisées par des *petits pôles littoraux* ou des *zones intérieures*. Ces deux structures correspondent aux configurations spatiales dont l'emprise spatiale est la plus réduite et dont la significativité en termes de LISA est souvent assez faible. Il n'est donc que peu étonnant de voir apparaître sur certaines décennies ces *absences de regroupement high-high*, puisque cela ne demande que peu de changement dans les dynamiques des communes. L'instabilité marque donc la variabilité et le caractère faiblement appuyé des dynamiques en cours.

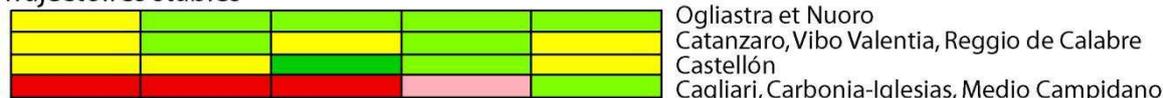
DIRECTION A " depuis le littoral vers le littoral " :

- Trajectoires instables



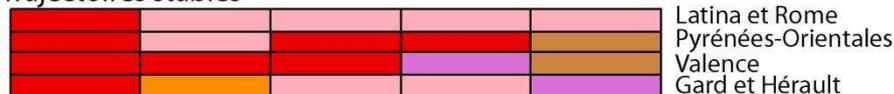
DIRECTION B " depuis le littoral vers une zone latérale " :

- Trajectoires stables

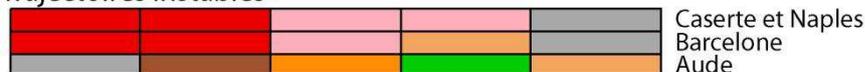


DIRECTION C " depuis le littoral élargi vers une zone latérale " :

- Trajectoires stables



- Trajectoires instables



DIRECTION D " depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur " :

- Trajectoires instables

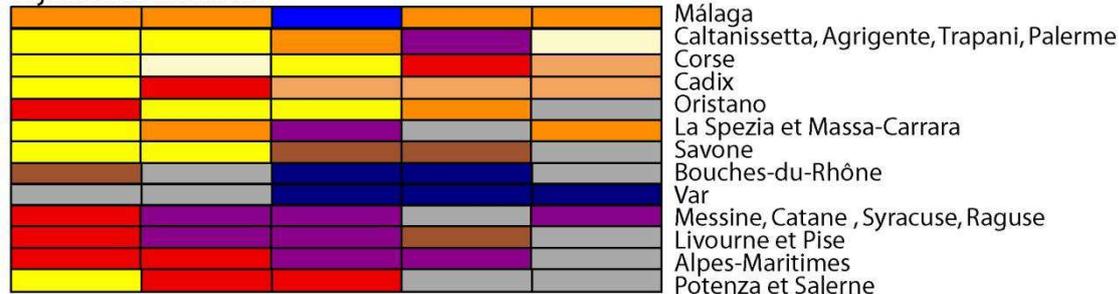


DIRECTION E " depuis le littoral vers l'intérieur des terres " :

- Trajectoires stables



- Trajectoires instables



DIRECTION F " depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres " :

- Trajectoire instable



Principales configurations des zones high-high



Mêmes configurations avec déplacement latéral



S.Lizard 2013

Figure IV-7. Caractérisation de la stabilité des trajectoires

Les trajectoires de la direction B évoluent par *petits pôles latéraux*, mais de façon stable à partir d'une *frange* ou d'une *grande région littorale*, qui correspondent à des structures spatiales plus fortes.

La situation est plus partagée pour les directions C (*depuis le littoral élargi vers une zone latérale*) et E (*depuis le littoral vers l'intérieur des terres*), qui présentent à la fois des trajectoires stables et des trajectoires instables. Pour la plupart des trajectoires correspondant à ces deux directions, l'instabilité est aussi liée à des pauses, mais leur particularité est d'apparaître en fin de parcours. C'est le cas de l'ensemble Caserte et Naples, Barcelone, Oristano, l'ensemble La Spezia et Massa-Carrara, Savone, l'ensemble Messine, Catane, Raguse et Syracuse, l'ensemble Livourne et Pise, les Alpes-Maritimes, et l'ensemble Potenza et Salerne. Dans ces territoires, les dynamiques de peuplement font état d'un redéploiement intérieur bien avancé, qui se traduit par des formes avancées de littoralisation dans leurs configurations spatiales, telles que les *aires littorales*, les *zones rétro-littorales*, les *grandes régions littorales* et les *grandes régions rétro-littorales*. L'absence de regroupement *high-high* correspond alors à une homogénéisation du territoire, dont les dynamiques n'opposent plus le littoral et l'arrière-pays. On peut ainsi penser qu'il s'agit d'une nouvelle étape – très avancée – du processus de littoralisation. L'absence de structure spatiale est cependant à l'origine d'une incertitude importante sur la poursuite de ces trajectoires. Les prochaines évolutions spatiales des dynamiques de peuplement pourraient correspondre à une reprise de la configuration spatiale antérieure, comme c'est le cas pour les ensembles La Spezia et Massa-Carrara d'une part et Messine, Catane, Raguse et Syracuse d'autre part. Elles pourraient aussi consister en des configurations latérales (*aire littorale latérale*, *zone rétro-littorale latérale*, etc.) ou en une *zone intérieure*, comme c'est le cas pour Gênes et les Bouches-du-Rhône qui ont atteint un stade de redéploiement très avancé.

Pour certaines trajectoires de direction E, l'instabilité est liée à des changements d'orientation par rapport à la direction suivie. Par exemple, la province de Malaga, caractérisée par des dynamiques de concentration de la population en une *aire littorale*, présente pour la décennie 1980-1990 un *axe littoral-intérieur*. La première moitié de la période d'étude correspond bien à la direction de la trajectoire en s'orientant vers l'intérieur des terres, mais la seconde moitié se traduit par une régression dans l'emprise terrestre de la zone de forte dynamique. C'est un écart par rapport à une dynamique progressive de déploiement vers l'intérieur des terres. Les dynamiques de peuplement de l'ensemble Caltanissetta, Agrigente, Trapani et Palerme, de la province de Cadix et de la Corse se manifestent par des configurations latérales dans les dernières décennies (une *frange littorale latérale* ou une *aire littorale latérale*). Elles révèlent des écarts par rapport à la direction d'évolution, qui est orientée vers l'intérieur. Ces configurations latérales peuvent traduire le fait que d'autres parties du littoral se développent, éventuellement en progressant elles aussi vers l'intérieur. Cette possibilité de développement latéral est un facteur d'incertitude pour les

évolutions des prochaines décennies par rapport aux espaces qui ne présentent d'autre alternative que le redéploiement intérieur.

L'analyse des écarts des trajectoires met ainsi en évidence trois formes d'instabilité dans les évolutions spatiales des dynamiques de peuplement : la présence de pauses dans la dynamique d'espaces peu évolutifs, une homogénéisation en fin de dynamique de redéploiement intérieur, et la présence de déplacements latéraux qui se combinent au redéploiement intérieur. Cette instabilité caractérise des possibilités d'évolutions multiples et donc plus incertaines dans les dynamiques de peuplement et les trajectoires.

1.4. Vitesse

1.4.1. Caractérisation des vitesses d'évolution des dynamiques spatiales et de la croissance de la population

L'évolution de la trajectoire est liée à la rapidité des processus en cours et donc à sa propre vitesse. En effet, la vitesse est source de différenciation dans l'évolution de deux espaces qui par exemple auraient par ailleurs une même trajectoire en termes de direction, de stade et de stabilité. Une forte vitesse d'évolution est susceptible d'accélérer les évolutions à venir. La vitesse de la trajectoire renseigne ainsi sur la rapidité des évolutions futures. L'analyse de la vitesse des trajectoires se base sur deux aspects de la dynamique :

- D'une part, le caractère évolutif des trajectoires est appréhendé par la rapidité des changements affectant les configurations spatiales des dynamiques de peuplement. On peut alors considérer que la vitesse est traduite par la diversité des configurations spatiales des dynamiques de peuplement observables sur l'ensemble de la période d'étude. Un indicateur est créé afin de fournir une mesure permettant de comparer la rapidité d'évolution des configurations spatiales des 39 aires d'étude. Pour chaque aire d'étude, sont additionnés le nombre de configurations spatiales différentes (sans prendre en compte le fait qu'elles soient latérales ou non) et le nombre d'apparition de configurations latérales. Les différentes configurations spatiales traduisent les dynamiques allant du littoral vers l'intérieur des terres. L'apparition de la même configuration sur plusieurs périodes n'est pas comptée car elle traduit une absence d'évolution. Ce n'est pas le cas pour les configurations latérales qui, à chaque apparition, expriment un déplacement de la zone de concentration de la population le long du rivage. Les multiples apparitions d'une configuration latérale traduisent donc quant à elle une évolution, qu'il faut prendre en compte individuellement pour évaluer le caractère spatialement évolutif des dynamiques de peuplement. Chaque apparition d'une configuration latérale est donc comptée. Les aires d'étude présentant une large gamme de configurations

spatiales et/ou des configurations spatiales latérales multiples ont les valeurs de vitesse les plus fortes. Les résultats de l'indicateur de vitesse d'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement ont des valeurs comprises entre 2 et 6, que l'on qualifie de faibles à très fortes (Tableau 12). La valeur 6 est rendue possible par le fait qu'une configuration spatiale latérale, qui n'apparaît pas sans déplacement latéral dans le reste de l'évolution, est doublement comptée par l'indicateur de vitesse (comme configuration spatiale et comme déplacement latéral). La valeur 6 n'apparaît que rarement aussi nous l'intégrons avec la valeur 5 dans la classe « très forte ».

Valeur de l'indicateur	Vitesse des évolutions spatiales	Nombre d'aires d'étude
2	Faible	6
3	Moyenne	13
4	Forte	10
5 et 6	Très forte	10

Tableau 12. Valeurs de l'indicateur de vitesse des évolutions spatiales

▪ D'autre part, la vitesse de la trajectoire est aussi liée à l'intensité des dynamiques, c'est-à-dire à la rapidité d'évolution de la quantité de population. Pour cela, les taux de croissance de la population sur l'ensemble de la période d'étude sont analysés. La rapidité de la croissance est étudiée, non pas sur toute l'aire d'étude, mais pour les bandes impliquées dans la direction de la trajectoire, qui correspondent aux espaces de densification. Nous adoptons ainsi une approche similaire à celle mise en place pour l'analyse du stade des trajectoires : nous prenons en compte la bande 0-10 km pour les directions A et B, les bandes 0-10 km et 10-20 km pour les directions C et E, les bandes 0-10 km et 30-40 km pour la direction D et la bande 30-40 km pour la direction F. Si deux bandes sont impliquées dans la direction de la trajectoire, le taux de croissance est calculé pour l'ensemble de deux bandes. Les taux sont discrétisés en sept classes selon la méthode des seuils observés (Tableau 13).

Taux de croissance de la population	Vitesse de la croissance	Nombre d'aires d'étude
< - 10%	Négative	1
[-10 ; 10 [	Quasi-nulle	2
[10 ; 20 [	Très faible	8
[20 ; 40 [	Faible	8
[40 ; 80 [	Moyenne	6
[80 ; 110 [	Forte	6
> 110%	Très forte	8

Tableau 13. Discrétisation des taux de croissance de la population en sept classes

Ces deux indicateurs mesurent la vitesse de la trajectoire par l'intensité de l'évolution spatiale des dynamiques et de la croissance de la population.

1.4.2. Résultats : deux mesures de la vitesse non corrélées

L'ensemble des résultats montrent, comme on pouvait l'imaginer, l'existence d'une relation entre certaines directions et la vitesse d'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement. En effet, les trajectoires dont la direction a une origine et une destination similaires (directions A, D et F) se distinguent par une vitesse des évolutions spatiales qui est faible à moyenne (Tableau 14 à Tableau 16), excepté pour Cadix qui a la particularité de présenter des déplacements latéraux.

Direction A	Vitesse des évolutions spatiales				Vitesse de la croissance	
	Nombre d'états différents	Nombre de déplacements latéraux	Valeur totale de l'indicateur	Qualificatif	Taux de croissance	Qualificatif
Grosseto	2	0	2	Faible	34,3	Faible
Olbia-Tempio	2	0	2	Faible	93,6	Forte
Imperia	2	1	3	Moyenne	15,1	Très faible
Murcie	3	0	3	Moyenne	108,6	Forte
Baléares	2	1	3	Moyenne	162,9	Très forte
Gérone	3	0	3	Moyenne	201,7	Très forte

Tableau 14. Vitesses des trajectoires de direction A « depuis le littoral vers le littoral » (bande 0-10km)

Direction D	Vitesse des évolutions spatiales				Vitesse de la croissance	
	Nombre d'états différents	Nombre de déplacements latéraux	Valeur totale de l'indicateur	Qualificatif	Taux de croissance	Qualificatif
Lucques	2	0	2	Faible	17,2	Très faible
Grenade	3	0	3	Moyenne	38,0	Faible

Tableau 15. Vitesses des trajectoires de direction D « depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur » (bande 0-10 et 30-40 km)

Direction F	Vitesse des évolutions spatiales				Vitesse de la croissance	
	Nombre d'états différents	Nombre de déplacements latéraux	Valeur totale de l'indicateur	Qualificatif	Taux de croissance	Qualificatif
Cadix	3	3	6	Forte	61,7	Moyenne
Viterbe	2	0	2	Faible	29,2	Faible

Tableau 16. Vitesses des trajectoires de direction F « depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres » (bande 30-40 km)

Les trajectoires de direction C (*depuis le littoral élargi vers une zone latérale*) présentent une vitesse qui va de forte à très forte (Tableau 17). La spécificité de cet ensemble est de mêler à la fois des configurations spatiales différentes et des déplacements latéraux, dont les parts sont variables selon les aires d'étude.

Direction C	Vitesse des évolutions spatiales				Vitesse de la croissance	
	<i>Nombre d'états différents</i>	<i>Nombre de déplacements latéraux</i>	Valeur totale de l'indicateur	Qualificatif	Taux de croissance	Qualificatif
Caserte et Naples	2	2	4	Forte	29,5	Faible
Pyrénées-Orientales	2	2	4	Forte	101,0	Forte
Rome et Latina	1	4	5	Très forte	50,4	Moyenne
Aude	4	1	5	Très forte	72,6	Moyenne
Barcelone	3	2	5	Très forte	88,0	Forte
Valence	3	2	5	Très forte	92,3	Forte
Hérault et Gard	3	3	6	Très forte	120,9	Très forte

Tableau 17. Vitesses des trajectoires de direction C « depuis le littoral élargi vers une zone latérale » (bande 0-10 et 10-20 km)

Les trajectoires de direction B (*depuis le littoral vers une zone latérale*) et E (*depuis le littoral vers l'intérieur des terres*) affichent des valeurs plutôt élevées (Tableau 18 et Tableau 19). Dans l'ensemble des trajectoires de direction B, les vitesses d'évolution se distinguent par un nombre différent de déplacements latéraux, tandis que le nombre de configurations spatiales différentes est toujours égal à deux.

Direction B	Vitesse des évolutions spatiales				Vitesse de la croissance	
	<i>Nombre d'états différents</i>	<i>Nombre de déplacements latéraux</i>	Valeur totale de l'indicateur	Qualificatif	Taux de croissance	Qualificatif
Castellón	2	1	3	Moyenne	135,8	Très forte
Catanzaro, Reggio de Calabre, Vibo Valentia	2	2	4	Forte	2,3	Quasi-nulle
Cagliari, Carbonia-Iglesias, Medio Campidano	2	2	4	Forte	36,9	Faible
Ogliastra et Nuoro	2	4	6	Très forte	29,7	Faible

Tableau 18. Vitesses des trajectoires de direction B « depuis le littoral vers une zone latérale » (bande 0-10 km)

Le caractère évolutif des trajectoires de direction E, comme la plupart des trajectoires dont l'orientation n'est pas latérale (A, D et F), est lié au nombre de configurations spatiales différentes, tandis que le nombre de déplacements latéraux est généralement nul. Les vitesses des évolutions spatiales résultantes sont très diverses, allant de faibles à très fortes.

Direction E	Vitesse des évolutions spatiales				Vitesse de la croissance	
	<i>Nombre d'états différents</i>	<i>Nombre de déplacements latéraux</i>	Valeur totale de l'indicateur	Qualificatif	Taux de croissance	Qualificatif
Var	2	0	2	Faible	97,9	Forte
Malaga	2	0	2	Faible	157,5	Très forte
Savone	3	0	3	Moyenne	9,3	Très faible
Catane, Messine, Syracuse, Raguse	3	0	3	Moyenne	16,1	Très faible
Salerno et Potenza	3	0	3	Moyenne	27,2	Faible
Sassari	2	1	3	Moyenne	33,5	Faible
Bouches-du-Rhône	3	0	3	Moyenne	46,1	Moyenne
Alpes-Maritimes	3	0	3	Moyenne	75,5	Moyenne
Tarragone	3	0	3	Moyenne	162,7	Très forte
La Spezia et Massa-Carrara	4	0	4	Forte	-0,7	Quasi-nulle
Oristano	4	0	4	Forte	8,2	Très faible
Livourne et Pise	4	0	4	Forte	9,3	Très faible
Caltanissetta, Agrigente, Palerme, Trapani	3	1	4	Forte	11,3	Très faible
Almeria	4	0	4	Forte	156,7	Très forte
Alicante	4	0	4	Forte	217,5	Très forte
Gênes	5	0	5	Très forte	-13,9	Négative
Cosenza et Crotona	4	1	5	Très forte	9,7	Très faible
Corse du Sud et Haute Corse	3	2	5	Très forte	78,1	Moyenne

Tableau 19. Vitesses des trajectoires de direction E « depuis le littoral vers l'intérieur des terres » (bande 0-10 et 10-20 km)

En ce qui concerne la vitesse de la croissance de la population, chaque direction est caractérisée par des valeurs très variées (mises à part les directions D et la F puisqu'elles ne concernent qu'une à deux aires d'études). Il n'y a donc pas de relation entre la vitesse de la croissance de la population et la direction. Il n'apparaît pas non plus de relation avec les vitesses des évolutions spatiales (Tableau 20), qui elles aussi prennent des intensités très

variées pour chaque niveau de vitesse de la croissance (exceptés pour les taux négatifs et quasi-nuls, qui sont très peu représentés). Les taux de croissance sont très fortement liés à l'appartenance nationale. Les provinces italiennes exposent les plus faibles vitesses, les départements français prennent des vitesses moyennes à fortes, et les provinces espagnoles ont des vitesses fortes à très fortes.

	Direction	Vitesse évolution des dyn. spatiales	Vitesse de la croissance
Gênes (I)	E	Très forte	Négative
La Spezia et Massa-Carrara (I)	E	Forte	Quasi-nulle
Catanzaro, Reggio de Calabre, Vibo Valentia (I)	B	Forte	Quasi-nulle
Lucques (I)	D	Faible	Très faible
Imperia (I)	A	Moyenne	Très faible
Catane, Messine, Syracuse et Raguse (I)	E	Moyenne	Très faible
Savone (I)	E	Moyenne	Très faible
Caltanissetta, Agrigente, Palerme et Trapani (I)	E	Forte	Très faible
Livourne et Pise (I)	E	Forte	Très faible
Oristano (I)	E	Forte	Très faible
Cosenza et Crotone (I)	E	Très forte	Très faible
Viterbe (I)	F	Faible	Faible
Grosseto (I)	A	Faible	Faible
Grenade (E)	D	Moyenne	Faible
Salerne et Potenza (I)	E	Moyenne	Faible
Sassari (I)	E	Moyenne	Faible
Cagliari, Carbonia-Iglesias, Medio Campidano (I)	B	Forte	Faible
Caserte et Naples (I)	C	Forte	Faible
Ogliastra et Nuoro (I)	B	Très forte	Faible
Bouches-du-Rhône (F)	E	Moyenne	Moyenne
Alpes-Maritimes (F)	E	Moyenne	Moyenne
Rome et Latina (I)	C	Très forte	Moyenne
Aude (F)	C	Très forte	Moyenne
Corse du Sud et Haute Corse (F)	E	Très forte	Moyenne
Cadix (E)	E	Très forte	Moyenne
Olbia-Tempio (F)	A	Faible	Forte
Var (F)	E	Faible	Forte
Murcie (E)	A	Moyenne	Forte
Pyrénées-Orientales (F)	C	Forte	Forte
Barcelone (E)	C	Très forte	Forte
Valence (E)	C	Très forte	Forte
Malaga (E)	E	Faible	Très forte
Baléares (E)	A	Moyenne	Très forte
Gérome (E)	A	Moyenne	Très forte
Castellón (E)	B	Moyenne	Très forte
Tarragone (E)	E	Moyen	Très forte
Almeria (E)	E	Forte	Très forte
Alicante (E)	E	Forte	Très forte
Hérault et Gard (F)	C	Très forte	Très forte

Tableau 20. Une absence de relation entre vitesse d'évolution des dynamiques spatiales et vitesse d'évolution des taux de croissance

Conclusion

Cette analyse montre l'intérêt du croisement de l'analyse de l'évolution de la distribution de la population et de l'analyse de l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement. Leur complémentarité a permis de caractériser les propriétés des trajectoires de chacune des aires d'étude tout en approfondissant les connaissances sur les processus de littoralisation. Il a ainsi été montré que les aires d'étude marquées par une zone de forte dynamique démographique située à l'intérieur des terres, peuvent correspondre à une distribution de la population se déconcentrant vers l'intérieur des terres. Ceci révèle l'existence d'un processus de littoralisation antérieur à la période d'étude. D'autre part, le stade des trajectoires, analysé en fonction de leur direction, montre la propension de territoires encore peu denses à initier une dynamique de densification vers l'intérieur des terres plutôt qu'un développement latéral. Enfin, le croisement de l'évolution de la distribution de la population et de l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement a permis de distinguer, au sein des aires d'étude correspondant à une progression latérale des dynamiques de densification à partir d'une grande région littorale, celles qui ne montrent pas de logique spécifique de littoralisation de celles qui sont associées à un stade extrêmement avancé de littoralisation. Cela montre que la progression latérale sur un littoral élargi correspond, comme nous en avons précédemment fait l'hypothèse, à une nouvelle évolution des processus de littoralisation atteignant des stades très avancés. Les propriétés des trajectoires, c'est-à-dire leur direction, leur stade, leur stabilité et leur vitesse, sont elles-mêmes complémentaires. La direction caractérise l'origine et l'orientation des trajectoires. Le stade reflète l'avancement des trajectoires en fonction du potentiel de densification. La stabilité identifie les écarts par rapport à la direction suivie par la trajectoire. Enfin, la vitesse mesure la rapidité d'évolution des dynamiques spatiales et de la croissance de la population. Elles vont à présent faire l'objet d'une analyse croisée pour analyser les évolutions potentielles de la littoralisation à travers l'identification de différents types d'espaces à enjeux.

2. Mise en évidence des évolutions potentielles de la littoralisation de l'Arc Latin à travers l'identification de différents types d'espaces à enjeux

Les propriétés des trajectoires, étudiées à l'aide d'indicateurs dans la section précédente, font à présent l'objet d'une analyse croisée afin de mettre en évidence les potentialités de maintien ou d'évolution des trajectoires et les espaces à enjeux qui y sont relatifs. Quatre types d'espaces à enjeux vont être recherchés : les espaces saturés, les espaces proches de la saturation, les espaces qui sont encore en marge du processus de densification et qui sont susceptibles d'être un lieu de déploiement de la densification et enfin les espaces susceptibles de connaître une anthropisation continue de leur littoral. À ces différents types d'espaces seront associées différentes modalités d'intervention pour l'action territoriale. En effet, un des objectifs de la prospective spatiale est de favoriser l'adaptation des modalités d'intervention aux caractéristiques des espaces, et plus précisément ici aux trajectoires suivies.

2.1. Analyse croisée des propriétés des trajectoires

2.1.1. Une analyse prospective basée sur les potentialités de maintien ou d'évolution des trajectoires et l'identification d'espaces à enjeux

L'analyse prospective se base sur les potentialités des trajectoires à se maintenir telles qu'elles sont ou à évoluer, compte tenu des dynamiques et de la distribution de la population. Il s'agit de voir si elles sont susceptibles ou non de connaître de nouvelles évolutions, en fonction de leur stade et leur vitesse, ou de leurs évolutions spatiales antérieures. Les propriétés des trajectoires éclairent différents aspects de la répartition et de l'évolution du peuplement et sont ainsi mises en relation pour identifier ses évolutions potentielles et les espaces à enjeux.

La direction est la propriété centrale de la trajectoire puisqu'elle définit son origine et son orientation. Nous en avons déduit les espaces impliqués dans le processus de densification, à partir du découpage de l'espace en bandes parallèles au rivage (cf. Chapitre IV.1.2.1). Ces aires constituées d'une à plusieurs bandes correspondent aux espaces moteurs de la densification (Figure IV-9), à la fois dans le passé, pour le présent mais aussi pour l'avenir. En effet, dans ces espaces, la densification peut être plus ou moins avancée et peut ainsi potentiellement se poursuivre ou nécessiter un redéploiement intérieur - cela sera l'objet

de la section suivante. En outre, l'analyse de l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement, sur laquelle se base en partie la délimitation des espaces moteurs de la densification, permet d'observer des évolutions encore émergentes, comme un redéploiement intérieur à partir d'une zone littorale, alors qu'il est encore trop récent pour se répercuter sur les valeurs de la distribution de la population en fonction de la distance au rivage. Une localisation côtière de ces espaces moteurs reflète la présence d'un processus de littoralisation, concernant une zone littorale plus ou moins importante (bande 0-10 km ou bandes 0-10 km et 10-20 km). L'espace moteur de la densification de l'aire d'étude constituée des provinces de Rome et Latina a été modifié suite aux précédentes analyses pour y intégrer les bandes 20-30 km et 30-40 km⁴⁸. D'autres distributions de la population, plus rares, sont aussi observables (densification de la bande 30-40 km, avec ou sans la bande 0-10 km). **À partir de ces espaces moteurs, le croisement du stade d'avancement et de la vitesse de croissance de la population va permettre d'identifier les espaces saturés et les espaces proches de la saturation** (Figure IV-8).

Au sein et à partir de ces espaces moteurs, la direction des trajectoires indique que la densification peut progresser de manière latérale ou vers l'intérieur des terres, ou bien ne pas évoluer spatialement. La Figure IV-9 montre par exemple que pour deux aires d'étude dont l'espace moteur correspond aux bandes 0-10 km et 10-20 km, la province de Barcelone et le département des Alpes-Maritimes, la progression de la densification se fait latéralement pour la première et vers l'intérieur des terres pour le second. La stabilité des trajectoires est liée à leur direction puisque l'analyse des écarts se fait au regard de celle-ci : les cas d'instabilité correspondent à des déplacements latéraux ou à une homogénéisation au sein d'une dynamique allant vers l'intérieur des terres, ou encore la présence de pauses dans une dynamique de concentration littorale. Nous considérons que l'instabilité que l'on observe dans la succession des configurations spatiales des dynamiques de peuplement d'une trajectoire augmente l'incertitude sur les évolutions à venir de cette trajectoire, par rapport à une trajectoire stable. Il devient en effet plus difficile de se baser sur la direction de la trajectoire puisque les évolutions possibles sont multiples. L'information sur l'instabilité des trajectoires marque ainsi une certaine incertitude par rapport aux connaissances relatives à la direction. C'est ce que signale la représentation des différentes situations d'instabilité sur la Figure IV-9. **L'orientation et la stabilité, combinées à la vitesse des évolutions spatiales, vont permettre d'identifier les trajectoires très évolutives spatialement (soit latéralement, soit vers l'intérieur des terres), qui sont susceptibles de mener à des**

⁴⁸ L'analyse des directions des trajectoires avait montré que l'espace moteur de la densification pour l'aire d'étude de Rome et Latina correspond à un littoral élargi. L'analyse des stades a par la suite montré que ce littoral élargi ne se limitait pas aux deux premières bandes, à la différence de l'ensemble des autres aires d'étude également caractérisées par un littoral élargi. En effet, pour Rome et Latina, les bandes 20-30 km et 30-40 km présentent des stades avancées de densification. En conséquence, nous intégrons ces deux bandes à l'espace moteur de la densification de Rome et Latina, formant ainsi une zone littorale très élargie.

situations d'anthropisation continue le long des littoraux ou de déploiement intérieur anticipé (Figure IV-8).

L'identification des espaces saturés et proches de la saturation, ainsi que les situations potentielles de report intérieur anticipé, permettra de déduire les espaces potentiels de report intérieur de la densification. En comparant les directions des trajectoires et ces situations potentielles de report intérieur, les trajectoires susceptibles de changer d'orientation seront identifiées.

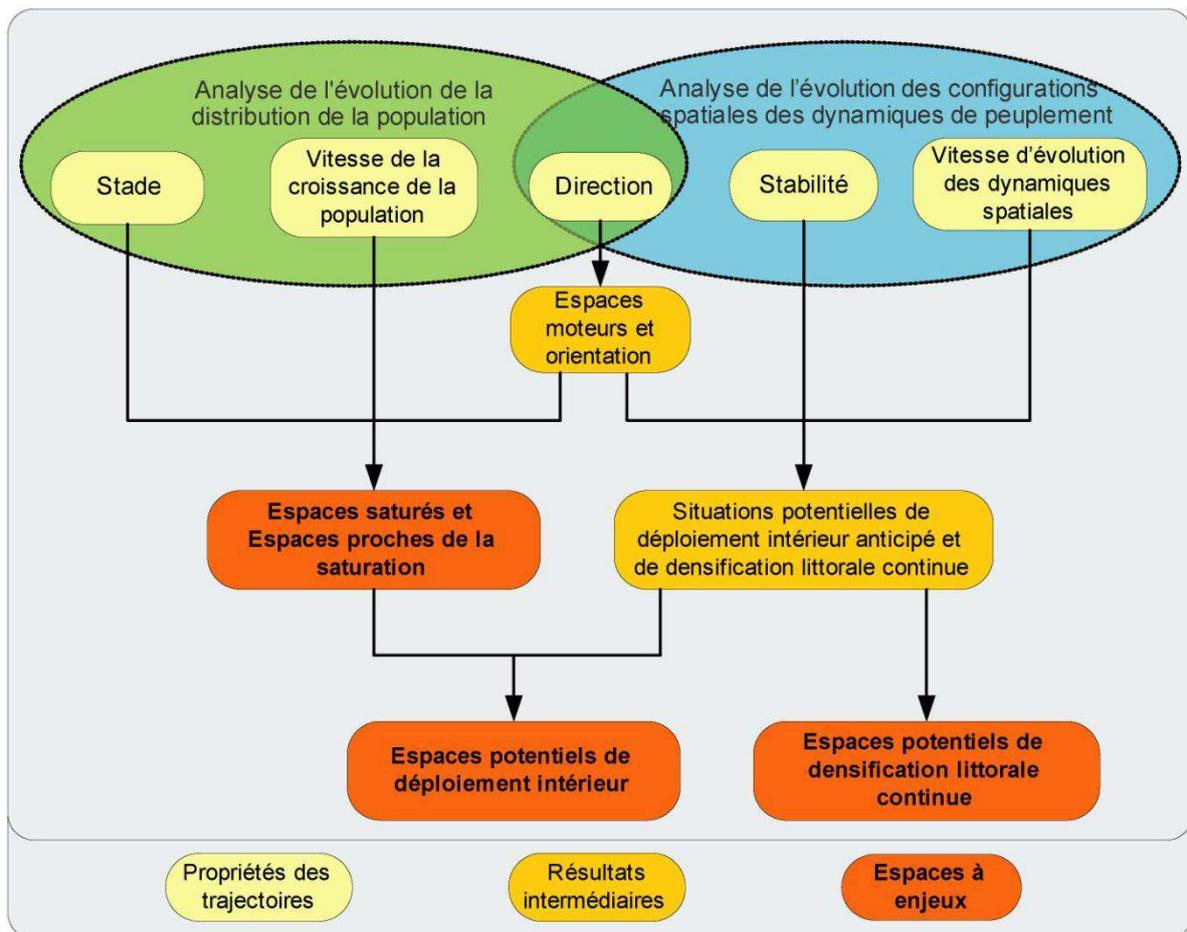
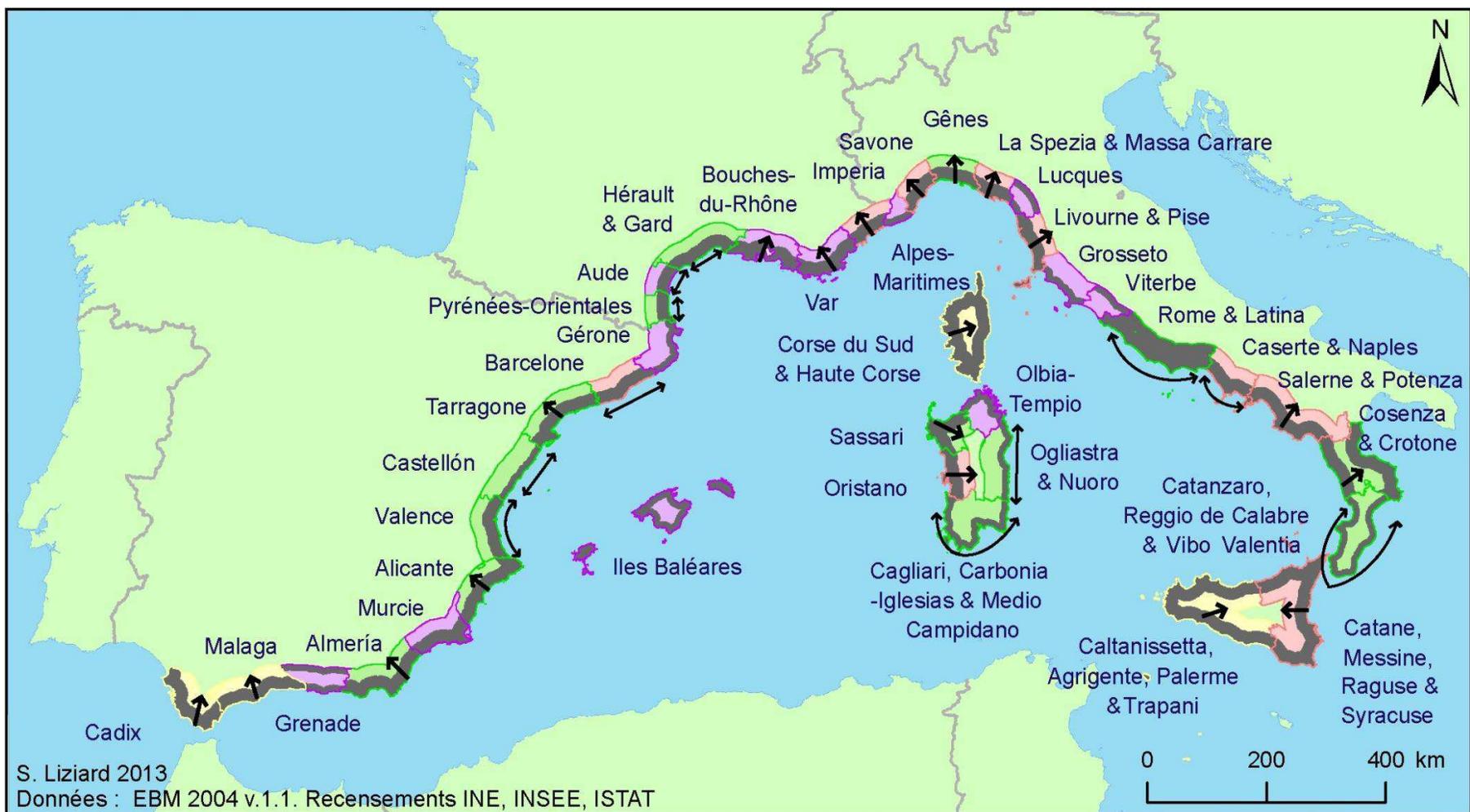


Figure IV-8. Démarche d'identification des espaces à enjeux



Direction des trajectoires :

- Espace moteur de la densification
- ↔ ↑ Progression latérale ou intérieure (sinon pas de dynamique spatiale)
- Stabilité de la trajectoire par rapport à la direction suivie

Trajectoires instables :

- Présence d'écarts au cours du déploiement intérieur
- Homogénéisation suite au déploiement intérieur
- Présence d'une ou plusieurs pauses

Figure IV-9. Les espaces moteurs de la densification avec l'orientation et l'instabilité de leur trajectoire

2.1.2. Mise en évidence des espaces saturés et des espaces proches de la saturation

Dans l'optique d'identification des espaces à enjeux, sont recherchés les espaces saturés et les espaces proches de la saturation. Ces espaces sont porteurs de tensions et peuvent générer des conflits en termes de compétition pour l'usage du sol et entre les différentes activités humaines.

Les **espaces saturés** de l'Arc Latin sont identifiés à partir de la combinaison de deux marqueurs : une densification avancée et une déprise littorale dans l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de littoralisation. Cette déprise littorale peut se traduire en fin de période d'étude par une configuration spatiale de type rétro-littorale (*zone rétro-littorale, grande région rétro-littorale*), une homogénéisation (*absence de regroupement high-high*), ou une structure *high-high* à l'intérieur des terres (*zone intérieure*). La densification avancée correspond au stade atteint par la ou les bandes de l'espace moteur de la densification, considérées individuellement. Cinq aires d'étude répondent à ces deux critères (Figure IV-10). La province de Barcelone et l'aire d'étude constituée des provinces de Naples et Caserte pour leurs bandes 0-10 km et 10-20 km. La province de Gênes et les départements des Alpes-Maritimes et des Bouches-du-Rhône ne sont concernées que pour leur bande 0-10 km, la bande 10-20 km n'ayant pas atteint un niveau avancé de densification.

Les **espaces proches de la saturation** sont mis en évidence par croisement du stade et de la vitesse de la croissance de la population. Le stade traduit le niveau de densification qui est atteint dans l'espace moteur de la densification en fonction de sa contrainte topographique, tandis que la vitesse informe sur l'intensité de la densification qui y a pris place pour l'ensemble de la période d'étude. Considérant qu'un espace est d'autant plus proche de la saturation qu'il présente un stade avancé dans son potentiel de densification et une croissance rapide de la population, nous identifions si les espaces sont proches de la saturation à court, moyen ou long terme, ou s'ils ne sont pas concernés par cette question. Ces différentes temporalités ne correspondent pas à des horizons temporels fermes mais représentent une échelle temporelle permettant d'ordonner et de comparer les situations des 39 aires d'étude de l'Arc Latin. Pour des vitesses de croissance de la population similaires, les espaces caractérisés par le stade le plus avancé font l'objet d'une saturation à plus court terme que les espaces caractérisés par un stade peu avancé (Tableau 21).

<i>Saturation des espaces moteurs de la densification</i>		Stade		
		Peu avancé	Moyen	Avancé
Vitesse de la croissance de la population	Négative	<i>non concerné</i>	<i>non concerné</i>	<i>non concerné</i>
	Quasi-nulle	<i>non concerné</i>	<i>non concerné</i>	<i>non concerné</i>
	Très faible	<i>non concerné</i>	<i>non concerné</i>	<i>à long terme</i>
	Faible	<i>non concerné</i>	<i>non concerné</i>	<i>à moyen terme</i>
	Moyenne	<i>non concerné</i>	<i>à long terme</i>	<i>à moyen terme</i>
	Forte	<i>non concerné</i>	<i>à moyen terme</i>	<i>à court terme</i>
	Très forte	<i>à long terme</i>	<i>à moyen terme</i>	<i>à court terme</i>

Tableau 21. Élaboration d'une échelle temporelle de la saturation des espaces par croisement des stades et des vitesses de croissance de la population

Nous définissons les espaces proches de la saturation comme les espaces susceptibles d'être saturés à court ou moyen terme. De l'analyse croisée du stade et de la vitesse de la croissance de la population, il ressort que les espaces susceptibles d'être saturés à court terme sont les provinces espagnoles de Malaga, Alicante et Valence. À moyen terme, un nombre bien plus important d'aires d'étude sont susceptibles d'être saturées. Les provinces espagnoles sont ici aussi très bien représentées (Almeria, Murcie, Castellón, Baléares, Gérone), tout comme des provinces italiennes (Rome et Latina, Salerne et Potenza) ainsi qu'une grande partie des départements français (Pyrénées-Orientales, Gard et Hérault, et enfin les Bouches-du-Rhône et les Alpes-Maritimes qui sont en partie déjà saturés).

Espaces saturés et espaces proches de la saturation sont susceptibles d'induire des phénomènes de report de la croissance là où la densification est moindre, c'est-à-dire à l'intérieur des terres. En fonction des dynamiques animant les différentes aires d'étude, l'intérieur des terres peut aussi initier une densification de sa population sans que les espaces plus proches du rivage n'aient encore atteint la saturation. Ce type d'espace fait l'objet de la section suivante.



Espaces saturés :



Espaces proches de la saturation :

-  Saturation à court terme
-  Saturation à moyen terme

Espaces loin de la saturation :

-  Saturation à long terme
-  Non concernés

Figure IV-10. Les espaces saturés et les espaces proches de la saturation

2.1.3. Mise en évidence des situations potentielles de déploiement intérieur anticipé et d'anthropisation continue des littoraux

Si la saturation de la côte est un facteur primordial du déploiement de la densification vers l'intérieur des terres, les différents espaces de l'Arc Latin peuvent néanmoins avoir une propension plus ou moins importante à retarder cette évolution ou au contraire à l'initier plus précocement. Les régions avec une grande rapidité d'évolution spatiale ne sont pas toujours proches de la saturation, ce qui montre qu'il peut y avoir une progression vers l'intérieur des terres alors que l'espace proche du rivage a une densité limitée. Les aires d'étude peuvent être plus ou moins favorables à des évolutions spatiales rapides, à une progression de la densification vers l'intérieur des terres ou bien le long du littoral.

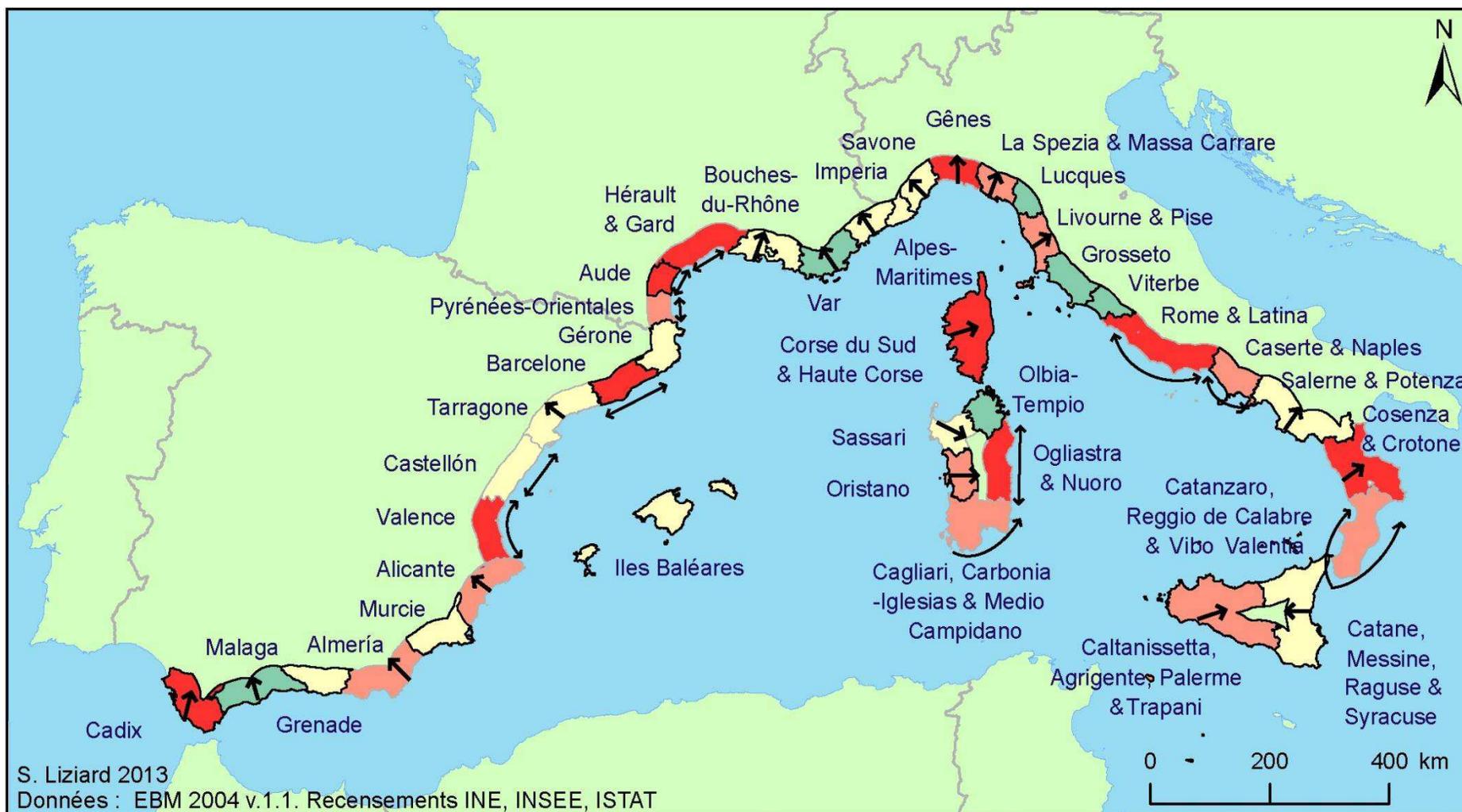
Les trajectoires qui montrent une évolution rapide vers l'intérieur des terres correspondent ainsi à des **situations potentielles de déploiement intérieur anticipé**, c'est-à-dire qu'un déploiement intérieur est susceptible de se réaliser sans qu'il y ait forcément saturation des espaces proches du rivage. Pour identifier les espaces concernés, nous croisons la vitesse des évolutions spatiales, la direction des trajectoires et leur stabilité. Nous considérons qu'une trajectoire caractérisée par des configurations spatiales évoluant rapidement et par une direction allant du littoral vers l'intérieur des terres est susceptible d'intégrer de nouveaux espaces intérieurs à la dynamique de densification. L'instabilité des trajectoires, qui nuance l'adéquation de l'aire d'étude avec la direction qui lui est associée, permettra d'intégrer les spécificités des aires d'étude dans l'évaluation de cette potentialité de progression vers l'intérieur des terres.

Les vitesses des évolutions spatiales ayant des valeurs fortes et très fortes (Figure IV-11) sont considérées comme rapides. Les aires d'étude qui évoluent rapidement et dont la direction va du littoral vers l'intérieur des terres sont au nombre de dix. Mises à part les provinces d'Almeria, d'Alicante, de Gênes et de Cosenza et Crotona, qui sont stables et ne présentent pas de dynamique allant à l'encontre de cette progression rapide vers l'intérieur des terres, les autres aires d'étude sont caractérisées par une instabilité. Dans le cas de Cadix, de la Corse et de l'ensemble constitué de Caltanissetta, Agrigente, Palerme et Trapani, nous avons montré que l'apparition de configurations latérales, contrastant avec la direction orientée vers l'intérieur des terres, pouvait traduire un développement successif de différentes parties du littoral qui évoluent tour à tour vers l'intérieur (cf. Chapitre IV.1.3.2). Ainsi, l'évolution de la densification ne paraît pas forcément progresser plus loin à l'intérieur des terres, mais se déploie dans les deux premières bandes à partir de multiples portions du littoral. En ce qui concerne la province d'Oristano, l'ensemble La Spezia et Massa Carrara et l'ensemble Livourne et Pise, une homogénéisation s'observe en fin de période d'étude,

marquant un coup d'arrêt à la progression de la trajectoire en direction de l'intérieur des terres. Il n'apparaît donc pas de potentiel particulier pour une poursuite de la progression rapide de la densification vers l'intérieur des terres pour ces provinces. Les aires d'étude que l'on peut identifier comme présentant une situation potentielle de déploiement intérieur anticipé sont finalement au nombre de quatre (Figure IV-12).

Le même croisement de la vitesse des évolutions spatiales, de l'orientation et de la stabilité permet de mettre en évidence les trajectoires qui pourraient potentiellement conduire à **une densification continue le long des littoraux**. Il s'agit aussi d'espaces fortement évolutifs spatialement, mais qui sont quant à eux caractérisés par une direction latérale de progression de la densification. La succession de plusieurs configurations spatiales latérales reflète un développement très « mobile », qui n'est pas restreint à une partie de la zone littorale et qui pourrait aboutir à une anthropisation continue du littoral. Ici aussi la stabilité de la trajectoire doit être prise en compte afin d'identifier des signes qui pourraient aller à l'encontre de cette évolution.

Neuf aires d'étude évoluent rapidement en termes de configurations spatiales et sont caractérisées par une direction latérale (Figure IV-11). Leurs trajectoires sont en grande majorité stables (Valence, Gard et Hérault, Rome et Latina, l'ensemble Catanzaro, Reggio de Calabre, Vibo Valentia, l'ensemble Ogliastro et Nuoro, et l'ensemble Cagliari, Carboni-Iglesias, Medio Campidano) et ne présentent donc pas de dynamiques allant à l'encontre d'une poursuite de la progression latérale. La province de Barcelone et l'ensemble constitué des provinces de Naples, marqués par une homogénéisation en fin de période, sont en situation de saturation d'après les analyses menées dans la section précédente. Ainsi le risque d'une densification continue sur le littoral semble bien présent, si ce n'est pas déjà le cas. Le risque apparaît aussi pour l'Aude qui, suite à une *absence de regroupement high-high* et à l'émergence d'une densification littorale, a vu cette dynamique de densification progresser latéralement dans les dernières décennies sur une importante partie du littoral. Les aires d'étude que l'on peut identifier comme présentant une situation potentielle d'anthropisation continue des littoraux ne sont donc pas remises en question par l'instabilité de leur trajectoire et restent ainsi au nombre de neuf (Figure IV-12).



Vitesse des évolutions spatiales :

- Faible
- Forte
- Moyenne
- Très forte

Orientation et stabilité :

- Progression latérale ou intérieure
- Trajectoires instables

Figure IV-11. Mise en évidence des trajectoires fortement évolutives spatialement (latéralement et vers l'intérieur des terres)

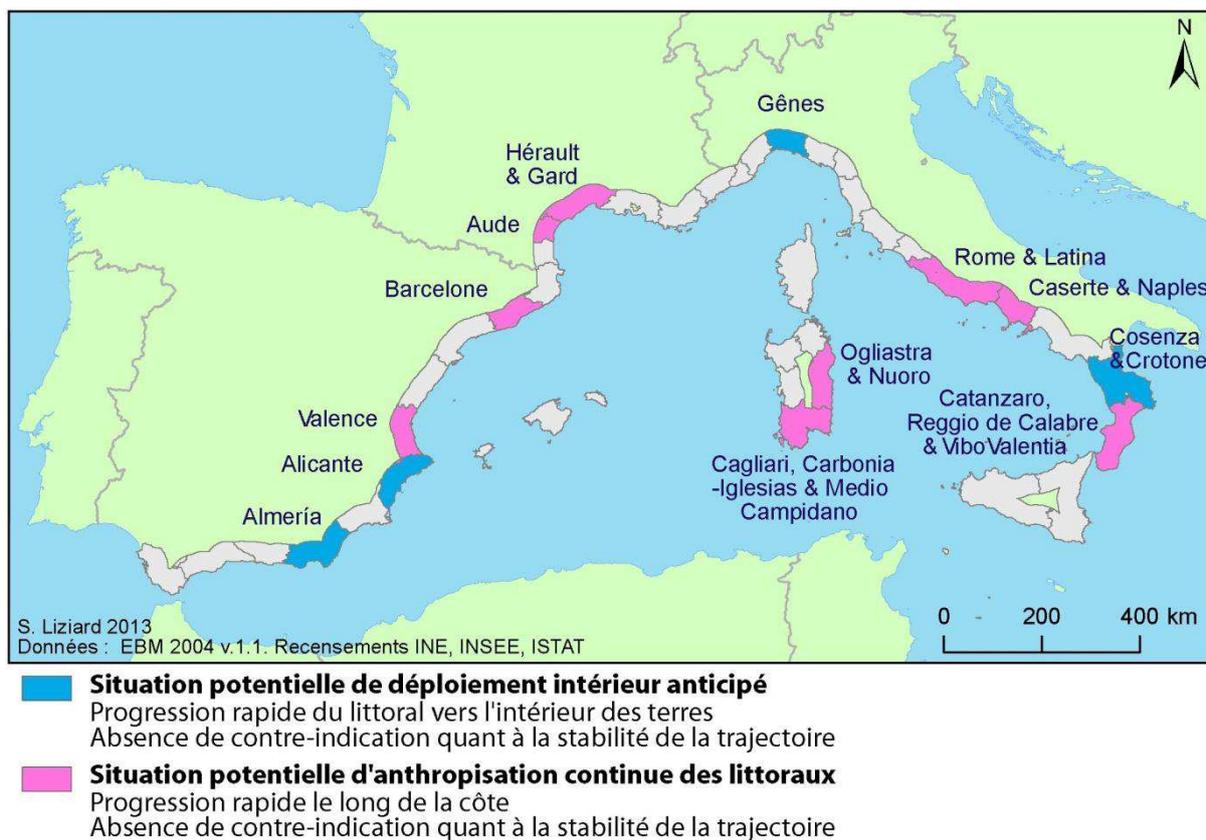


Figure IV-12. Mise en évidence des situations potentielles de déploiement intérieur anticipé et d'anthropisation continue des littoraux

Chacune de ces situations potentielles rassemble des provinces et des départements aux profils variés en termes de population. Par exemple, les provinces sardes ont des densités littorales faibles par rapport à celles des provinces de Barcelone, de Rome et Latina, ou encore de Caserte et Naples. Néanmoins leur point commun est d'offrir une dynamique de densification qui n'est pas fixe en un lieu du littoral, mais qui progresse rapidement le long de celui-ci. En ce qui concerne le déploiement intérieur, l'aire d'étude constituée de Cosenza et Crotona est par exemple sujet d'un faible différentiel de densité entre les bandes littorales et les bandes intérieures, alors que le différentiel est fort entre la bande 0-10 km et les autres bandes pour la province de Gênes (cf. Figure IV-5). Un déploiement intérieur anticipé fait émerger des espaces de report potentiel, qui s'ajoutent à ceux résultant de la saturation du littoral.

2.1.4. Synthèse des espaces à enjeux en termes de littoralisation de l'Arc Latin

Au terme de cette analyse des potentialités d'évolution du peuplement de l'Arc Latin, trois types d'espace à enjeux ont pu être identifiés : les espaces saturés, les espaces proches de la saturation, et les espaces potentiels de densification continue du littoral. Les espaces

saturés, les espaces proches de la saturation et d'autre part les situations potentielles de déploiement intérieur anticipé sont susceptibles d'induire une progression de la densification à l'intérieur des terres. Ils nous permettent de localiser le dernier type d'espace à enjeux étudié, à savoir les espaces potentiels de déploiement intérieur. Ces espaces sont susceptibles de connaître des mutations territoriales et d'importantes pressions sur les milieux naturels, dans des territoires où l'artificialisation a déjà fortement progressé lors des dernières décennies. Ils offrent alors un intérêt particulier pour l'ensemble du territoire considéré. Ces espaces sont localisés à partir de l'espace moteur de la densification, en tant que bande suivante située plus à l'intérieur des terres (Figure IV-13). Ils pourraient dans l'avenir intégrer l'espace moteur de la densification. Les provinces d'Almeria et d'Alicante paraissent particulièrement susceptibles de connaître un déploiement intérieur, étant à la fois caractérisées par une saturation de leur espace moteur de la densification et par une progression rapide de la densification vers l'intérieur des terres. Dans le cas de Rome et Latina, l'aire d'étude étant déjà entièrement intégrée dans l'espace moteur de la densification, nous n'avons pu faire figurer une bande de déploiement intérieur potentiel. L'aire d'étude est susceptible de connaître une saturation à moyen terme. On peut se demander ce qu'il adviendra dans une hypothèse de poursuite de la densification : une densification au-delà de 40 km vers l'intérieur des terres ou un report de la croissance sur les espaces littoraux voisins ? Afin de mieux prendre en compte la spécificité de l'aire métropolitaine romaine et ses développements ultérieurs, une aire d'étude allant plus en profondeur vers l'intérieur des terres serait nécessaire.

L'analyse des espaces potentiels de déploiement intérieur anticipé est basée sur l'hypothèse d'une poursuite de la trajectoire selon sa direction actuelle d'évolution. Les espaces potentiels de report de la densification par saturation des espaces proches du littoral peuvent quant à eux induire un changement dans la direction dans la trajectoire. En effet, certaines trajectoires concernées par la saturation ne sont actuellement pas caractérisées par une direction allant du littoral vers l'intérieur des terres. Du fait de la saturation de leur littoral, elles sont susceptibles de connaître dans le futur un élargissement de la zone de densification vers l'intérieur des terres. Ces trajectoires pouvant connaître une évolution dans leur direction correspondent à huit aires d'étude qui étaient caractérisées, pour la période d'analyse, par les directions « *depuis le littoral vers le littoral* » (provinces de Murcie et de Gérone), « *depuis le littoral vers une zone latérale* » (Castellón) et « *depuis le littoral élargi vers une zone latérale* » (Valence, Barcelone, Hérault et Gard, Caserte et Naples).

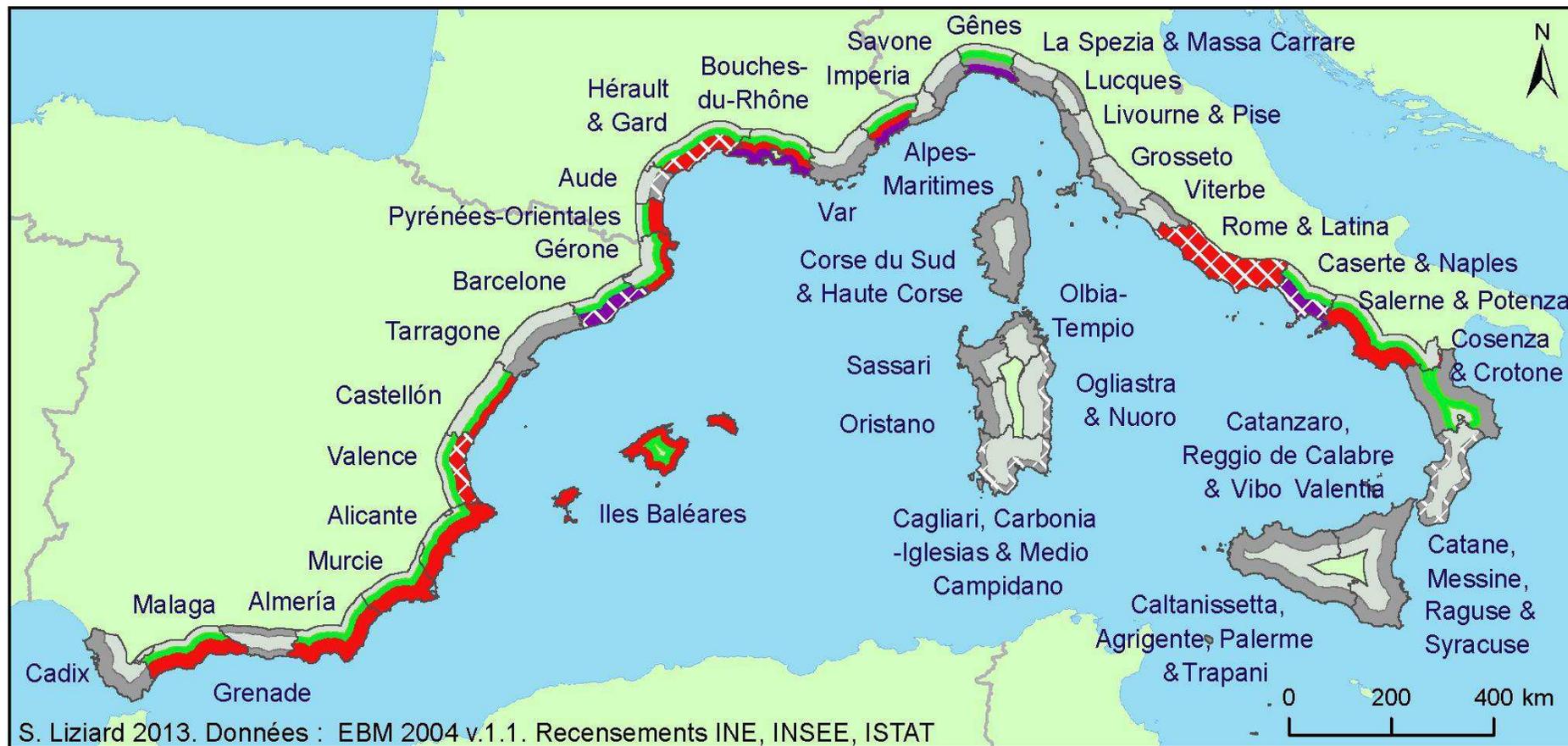
La carte suivante (Figure IV-14) synthétise l'ensemble des espaces à enjeux résultant de l'analyse prospective. Si les espaces saturés sont actuellement ceux qui possèdent une importante métropole (Barcelone, Bouches-du-Rhône, Alpes-Maritimes, Gênes et l'ensemble Caserte et Naples), les espaces proches de la saturation sont nombreux, de la Costa del Sol à

la Costa de Azahar, autour du golfe du Lion, ou encore sur les côtes du Latium et de la Campanie. La littoralisation y atteint déjà un stade avancé puisque l'espace moteur de la densification ne se limite pas à la bande 0-10 km mais englobe la bande 10-20 km (excepté pour Castellón, Gérone et les Iles Baléares). Une poursuite du déploiement intérieur correspondrait ainsi à une densification de la bande 20-30 km. Certains de ces espaces cumulent en outre les enjeux, avec à la fois un littoral saturé (Barcelone) ou proche de la saturation (Valence, et les ensembles Gard et Hérault, Rome et Latina, Caserte et Naples) et une situation potentielle de densification continue du littoral, du fait de dynamiques latérales progressant rapidement. Cette situation potentielle d'anthropisation continue du littoral concerne aussi des espaces qui ne sont pas proches de la saturation. Il s'agit du Sud-est de la Sardaigne et de la pointe de la botte italienne. Une anthropisation diffuse le long du littoral et l'urbanisation qui est associée pourraient toutefois avoir des impacts irréversibles sur ces littoraux. Les espaces potentiels de déploiement intérieur ne concernent pas seulement des espaces en proie à la saturation, mais aussi l'ensemble Cosenza et Crotona. La faible distance reliant ses deux façades maritimes semble favoriser leur mise en relation.

Les différents types d'espace à enjeux étudiés correspondent à des modalités d'action territoriale différenciées dans leur finalité, qui est liée à leur temporalité. En effet, les espaces saturés se situent dans la nécessité d'une action d'aménagement correcteur, afin de conserver une attractivité qui pourrait être remise en cause. Une action d'aménagement accompagnateur conviendrait aux espaces proches de la saturation et aux espaces potentiels de densification continue le long du littoral, afin d'orienter la densification même si les marges de manœuvre peuvent être réduites. Enfin, pour les espaces potentiels de déploiement intérieur, qui ne sont pas encore intégrés dans l'espace moteur de la densification, mais aussi pour les espaces moteurs de la densification qui ne sont actuellement pas concernés par la saturation, c'est une action d'aménagement anticipatrice qui pourrait être proposée afin de planifier le développement littoral. Il paraît indispensable que l'action territoriale ne se restreigne pas aux périmètres des espaces à enjeux mais prennent en considération le territoire dans son ensemble. Dans ce jeu de densification continue et de reports de la croissance, l'action territoriale devrait en effet s'appuyer sur la complémentarité des lieux pour orienter le développement, selon les principes de la GIZC. Les assemblages d'espaces à enjeux communs à différentes aires d'étude apparaissant sur la carte de synthèse (Figure IV-14) permettent de qualifier l'avancement du processus de littoralisation et ses évolutions potentielles et fournissent une orientation sur les types d'action territoriale à mener de façon complémentaire.



Figure IV-13. Les espaces potentiels de déploiement intérieur



Espaces à enjeux :

- Espaces saturés
- Espaces proches de la saturation
- Espaces potentiels de densification littorale continue
- Espaces potentiels de déploiement intérieur

Figure IV-14. Les espaces à enjeux : carte de synthèse

2.2. Apports de l'analyse des propriétés des trajectoires en prospective spatiale et mise en perspective de leurs enseignements pour l'action territoriale

2.2.1. Une méthode de prospective spatiale adaptée aux processus géographiques structurés en différentes phases d'évolution

À l'origine de cette analyse prospective des territoires littoraux se trouve l'hypothèse qu'une connaissance rétrospective des dynamiques et des logiques d'évolution du peuplement peut informer sur les évolutions prochaines du processus de littoralisation (H1). Cette hypothèse se base sur le fait que le modèle d'évolution du processus de littoralisation est fortement structuré dans le temps et dans l'espace et se traduit par différentes phases. L'analyse des trajectoires de peuplement a permis de comparer et replacer les territoires de l'Arc Latin, avec leurs particularités d'évolution, au sein du modèle du processus de littoralisation. Il s'agissait ainsi, en étudiant les modalités d'évolution des territoires, d'explorer en quoi la trajectoire constitue un élément porteur d'information pour la prospective, mais aussi de prendre en considération ses limites face au caractère fondamentalement imprédictible du futur. Si elle ne peut être prédite, l'évolution des territoires n'est pas sans lien avec l'évolution passée et présente, et la prospective spatiale se fonde ainsi sur la recherche de principes d'évolution des territoires et la qualification des potentialités d'évolution. Nous avons étudié ces principes d'évolution à travers les trajectoires de l'ensemble des aires d'étude de l'Arc Latin, qui ont mis en évidence des récurrences spatio-temporelles dans les évolutions des territoires. L'analyse des propriétés des trajectoires caractérise les modalités d'évolution des territoires et met en évidence les évolutions potentielles, à défaut de pouvoir prédire les évolutions futures. Il s'agissait de s'appuyer sur l'analyse des trajectoires pour tirer des enseignements sur les évolutions potentielles des territoires, tout en réfutant un simple prolongement de tendance. **L'analyse des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin, qui a été menée selon une démarche de prospective spatiale, valide l'hypothèse H1. Cette analyse a mis en évidence les potentialités de maintien ou d'évolution des dynamiques à l'intérieur des différentes aires d'étude de l'Arc Latin.**

L'analyse a révélé une très forte stabilité de la logique de concentration littorale et une importante continuité dans l'évolution du peuplement, qui contribuent à rendre pertinente la mobilisation des trajectoires à des fins prospectives. Des trajectoires instables seraient sujettes à une plus grande incertitude en ce qui concerne leur propre évolution. Cette démarche d'analyse prospective basée sur les trajectoires territoriales est par conséquent bien adaptée aux processus géographiques structurés en différentes phases, c'est-à-dire qui présentent une

logique d'évolution caractérisée par des dynamiques spatiales distinctes et successives. Cette méthode paraît ainsi pouvoir être mobilisée dans l'analyse prospective d'autres processus de diffusion. Elle requiert l'identification d'un modèle d'évolution. À partir de méthodes adaptées à l'étude comparée des évolutions spatiales de différents territoires, elle met en évidence des récurrences spatio-temporelles dans leurs processus d'évolution. L'analyse révèle des modalités différenciées d'évolution des territoires (formes, rythmes, temporalité, intensité...), qui sont mobilisées dans l'évaluation des évolutions potentielles. L'analyse de l'évolution des dynamiques de peuplement par les LISA, en complément de l'analyse de l'évolution de la distribution de la population conditionnellement au trait de côte, a permis d'identifier les changements en cours, qui se traduisent par des signaux faibles en comparaison de l'inertie des structures spatiales de la population. Les trajectoires et leurs propriétés – l'orientation, le stade, la stabilité et la vitesse – forment un cadre conceptuel soutenant la méthode de prospective spatiale. L'intérêt de l'étude exploratoire ne réside pas uniquement dans sa finalité prospective, mais constitue un processus d'acquisition de connaissances – ici sur les processus de peuplement des littoraux – tout au long de la démarche. L'analyse des trajectoires permet de formaliser une démarche pour exploiter cette connaissance et organiser la réflexion prospective. Les connaissances qui en résultent sont avant tout descriptives. Néanmoins, l'analyse des trajectoires met en évidence des processus répondant à des logiques d'évolution de l'espace. L'observation d'évolutions communes à différentes aires d'étude permet en outre de formuler des hypothèses sur le rôle de certains facteurs.

L'utilisation d'indicateurs pour analyser les propriétés des trajectoires rend possible la comparaison des différentes aires d'étude et contribue à rendre la méthode reproductible. Ces indicateurs font ressortir les caractéristiques des trajectoires sur la base d'hypothèses quant à leur rôle dans leurs évolutions potentielles. Ainsi, l'orientation de la trajectoire montre l'origine et la direction des dynamiques en cours, le stade définit l'avancement de la dynamique au sein de la trajectoire et les potentialités de maintien ou d'évolution de celle-ci, la stabilité vient apporter de l'incertitude sur ces hypothèses de maintien et d'évolution, et la vitesse caractérise la temporalité plus ou moins proche de ces évolutions potentielles. La définition des indicateurs pose une difficulté d'ordre méthodologique qui est celle de la synthèse de la connaissance et de la perte d'information qui lui est consécutive. L'analyse des propriétés pourrait faire l'objet d'une étude plus approfondie, intégrant des variables supplémentaires et plus de détails dans les évolutions, mais l'utilisation d'indicateurs permettant la comparaison limite cette complexification. Par exemple, concernant le stade de la trajectoire, d'autres contraintes que la topographie peuvent jouer sur le caractère plus ou moins avancé de la dynamique : la trame urbaine et le type d'urbanisation peuvent contribuer à définir une plus grande densification potentielle par exemple dans le cas de villes denses, par rapport à des espaces où le logement individuel tient une part importante de

l'urbanisation. En ce qui concerne la stabilité, nous l'avons caractérisée de façon binaire (apparition d'un marqueur d'instabilité, c'est-à-dire d'une pause ou déviation temporaire, ou non-apparition d'un tel marqueur) alors que l'on peut penser que la stabilité peut elle-même évoluer dans le temps. Pour l'indicateur de vitesse de la croissance de la population, celle-ci est caractérisée par le taux de croissance sur l'ensemble de la période, alors que des accélérations ou des ralentissements, voire même des évolutions contrastées sont susceptibles d'apparaître au sein de la période d'étude. Cependant, la complexification des indicateurs s'oppose à leur caractère synthétique et rend difficile leur analyse et la comparaison entre aires d'étude. L'intégration de facteurs supplémentaires, ou d'un plus grand niveau de détail par exemple pour le rôle joué par la contrainte topographique, s'expose au fait qu'un même facteur puisse jouer de façon différenciée sur le peuplement d'un territoire. Si le relief constitue généralement une contrainte, des sites de coteaux peuvent constituer un environnement particulièrement attractif pour l'installation résidentielle, notamment s'ils s'accompagnent d'une vue sur mer (Robert 2009). La définition de seuils discriminants dans la prise en compte de nouveaux facteurs, comme la trame urbaine, demande une justification théorique et/ou empirique, et nécessite une analyse spécifique. L'incertitude entourant ces seuils pourrait tirer bénéfice d'une analyse basée sur les principes de la logique floue (Zadeh 1965, Voiron *et al.* 2013). Ces différenciations territoriales pourraient être intégrées dans le cadre d'une prospective qui intégrerait les diverses spécialisations en relation avec la littoralisation (spécialisation dans les activités maritimes, spécialisation résidentielle et/ou touristique). Nous avons en effet analysé la littoralisation à travers la population, mais d'autres variables, qui ne sont pas disponibles à cette échelle et sur une aussi longue période d'étude, sont elles aussi majeures pour appréhender ce processus et ses évolutions. On peut citer l'occupation du sol (artificialisation des milieux, évolutions des différents types de surfaces, etc.) mais aussi des variables jouant à un degré divers selon le type de développement littoral : la construction de logements, les emplois dans le secteur tertiaire, les établissements et infrastructures touristiques, la population présente, les activités portuaires, etc. Cette analyse prospective apporterait une connaissance plus fonctionnelle sur l'évolution des territoires mais nécessite l'élaboration d'indicateurs en relation avec les différentes spécialisations et les modes de fonctionnement des territoires. Elle viendrait compléter notre première analyse prospective dont l'objectif était quant à elle de comparer les espaces de l'Arc Latin au moyen d'indicateurs génériques.

2.2.1. Perspectives pour l'action territoriale

L'intérêt de cette analyse prospective est soutenu par la nécessité d'anticiper les dynamiques de peuplement des territoires littoraux dans un contexte de développement peu maîtrisé. L'hypothèse à la base de la démarche était que cette prospective spatiale menée à partir de l'analyse des trajectoires de peuplement pourrait fournir une information pertinente

pour une gestion anticipatrice et différenciée des dynamiques de littoralisation (H3). La dimension d'aide à la décision de la prospective spatiale se concrétise par des indications sur la conduite d'actions d'aménagement du territoire en adéquation avec les contextes territoriaux et leurs modes d'évolution. L'analyse a permis d'identifier différents types d'espaces à enjeux à partir des potentialités de maintien ou d'évolution des trajectoires de peuplement à l'intérieur des espaces de l'Arc Latin, analysés selon quatre bandes parallèles au rivage. Ces espaces à enjeux sont les lieux où la gestion de la littoralisation revêt une importance particulière du fait des dynamiques de peuplement passées, actuelles et potentielles. Les modalités d'action territoriale qui ont pu être définies sont liées à la temporalité des territoires vis-à-vis des dynamiques de peuplement qui s'y déroulent : une action a posteriori pour les espaces saturés, une action concomitante pour les espaces proches de la saturation et les espaces potentiels de densification continue le long du littoral, et une action anticipatrice pour les espaces potentiels de déploiement intérieur. Alors qu'il s'agit non pas d'arrêter un processus mais de guider ses dynamiques, la localisation de ces différents espaces à enjeux peut permettre d'orienter le développement. Il s'agit d'anticiper ou limiter les situations préjudiciables en termes de développement durable comme la saturation d'un espace ou l'anthropisation continue d'une portion du littoral. L'échelle d'analyse ne permet pas de proposer des actions d'aménagement directement opérationnelles. Néanmoins, ces grandes orientations données à l'échelle d'aires littorales de l'Arc Latin revêtent un intérêt notable dans le contexte actuel de structuration des actions de gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée, par l'intermédiaire du Protocole GIZC. **Les résultats de l'analyse prospective fournissent une vision d'ensemble et spatialement différenciée de la littoralisation, de ses évolutions potentielles et des modalités d'intervention en adéquation avec celles-ci, dans l'hypothèse d'une poursuite des trajectoires en cours. En cela, l'hypothèse H3 peut être validée.** Pour dépasser le stade des grandes orientations et rendre cette connaissance opérationnelle, plusieurs étapes allant dans le sens d'une plus grande prise en compte des caractéristiques locales sont encore nécessaires. Tout d'abord, il s'agirait d'examiner, pour les espaces à enjeux mis en évidence, si des politiques sont d'ores et déjà mises en place pour gérer les dynamiques en cours ou à venir et évaluer leur efficacité. Il serait également nécessaire d'examiner s'il y a au sein de ces espaces des lieux qui revêtent une importance particulière vis-à-vis des enjeux mis en évidence : lieux de développement privilégié, coupure d'urbanisation, espaces naturels ou agricoles d'un intérêt particulier au regard de l'ensemble du territoire, lieux porteurs d'identité en termes de paysage ou d'activités pour le territoire, etc. Enfin, la définition des enjeux à une échelle plus fine et dans une visée opérationnelle ne peut se dispenser d'une prise en compte des acteurs, de leurs attentes et de leurs projets pour leur territoire.

Conclusion

Dans cette partie, les propriétés des trajectoires ont fait l'objet d'une analyse croisée pour mettre en évidence les évolutions potentielles de la littoralisation à travers l'identification de différents types d'espaces à enjeux. Le croisement du stade d'avancement de la trajectoire et de la vitesse de croissance de la population a permis d'identifier les espaces saturés et les espaces proches de la saturation. Le croisement de l'orientation, de la stabilité et de la vitesse des évolutions spatiales a permis d'identifier les trajectoires très évolutives spatialement, le long du littoral ou vers l'intérieur des terres, susceptibles de mener à des situations d'anthropisation continue le long des littoraux ou de déploiement intérieur devançant la saturation de l'espace côtier. Ainsi ont pu être localisés les espaces potentiels de densification continue le long du littoral, alors que les espaces potentiels de déploiement intérieur résultent non seulement des situations de déploiement intérieur anticipé mais aussi des espaces saturés et proches de la saturation. Les résultats montrent que les aires d'étude qui ne sont ni saturées, ni proches de la saturation concernent les espaces insulaires (Corse, Sardaigne, Sicile), de confins (Cadix et toute la pointe de la botte italienne), le Nord de l'Italie (d'Imperia à Viterbe, en excluant Gênes) et quelques provinces espagnoles (Tarragone, Grenade) et départements français (Aude, Var) plus disséminés. L'analyse des espaces moteurs de la littoralisation, prenant en compte l'origine et l'orientation de la trajectoire, montre néanmoins que les dynamiques de littoralisation s'exercent pour une majorité d'entre elles sur un espace littoral atteignant les 20 km vers l'intérieur des terres. Certaines de ces aires d'étude sont en outre caractérisées par une situation potentielle d'anthropisation littorale continue, qui se traduit par de fortes dynamiques de population très mouvantes le long du bord de mer. Les espaces saturés sont limités aux grandes métropoles, mais les espaces proches de la saturation sont nombreux et les dynamiques de littoralisation pourraient ainsi se traduire par d'importants reports de la densification de la population vers l'intérieur des terres, dans des espaces généralement situés entre 20 et 30 km à partir du rivage. C'est le cas pour la majeure partie du littoral espagnol et français, et pour une grande partie centrale de l'Italie de Rome à Potenza.

Conclusion du Chapitre IV

La démarche de prospective spatiale mise en place pour analyser les dynamiques de littoralisation de l'Arc Latin se base sur l'analyse de la distribution de la population en fonction de la distance au rivage et sur l'analyse de l'évolution des configurations spatiales des dynamiques de peuplement. À partir de ces analyses, la démarche consiste à caractériser les propriétés des trajectoires de peuplement pour évaluer leurs potentialités de maintien ou d'évolution. L'orientation des trajectoires, issue d'une lecture croisée des structures et dynamiques spatiales de peuplement, permet d'identifier l'origine et la direction des évolutions de la population. Le stade mesure l'avancement de la dynamique au sein de la trajectoire, en fonction du potentiel de densification de l'espace. L'analyse de la stabilité identifie les écarts par rapport à la direction des trajectoires. La vitesse caractérise enfin la rapidité d'évolution de la croissance de la population et des dynamiques spatiales. Différentes analyses croisées de ces propriétés sont réalisées à l'échelle des bandes de 10 km de largeur organisées parallèlement au rivage de chaque aire d'étude pour mettre en évidence les espaces à enjeux. Ce sont les lieux où la gestion de la littoralisation revêt une importance particulière du fait des dynamiques de peuplement passées, actuelles et potentielles. Nous avons identifié quatre types d'espaces à enjeux et des modalités d'intervention qui leur sont adaptées en termes d'aménagement du territoire : une action a posteriori de type correctrice pour les espaces saturés, une action concomitante et accompagnatrice pour les espaces proches de la saturation et les espaces potentiels de densification continue le long du littoral, et une action anticipatrice et planificatrice pour les espaces potentiels de déploiement intérieur. La cartographie des espaces à enjeux dresse non seulement un panorama de la littoralisation de l'Arc Latin et de ses évolutions potentielles, mais permet aussi d'observer à l'intérieur des aires d'étude concernées des assemblages de divers types d'espaces à enjeux. En effet les espaces à enjeux mis en évidence sont en relation avec les espaces qui leur sont voisins, du fait des phénomènes de report de la croissance vers l'intérieur des terres. Par exemple, les aires d'étude présentant des espaces saturés sont généralement également caractérisées par des espaces proches de la saturation et des espaces potentiels de déploiement intérieur. Ces résultats montrent la nécessité d'une gestion spatialement intégrée, à large échelle, des dynamiques de littoralisation. Ils aboutissent à la définition de grandes orientations sur les politiques à mener pour gérer les dynamiques de littoralisation dans une optique de durabilité territoriale. Par ailleurs, des espaces potentiels de déploiement intérieur et d'anthropisation littorale continue peuvent être observés, sans qu'il y ait d'espaces saturés ou proches de la saturation, mais ils sont plus rares. **La démarche de prospective spatiale, de l'analyse rétrospective à la spatialisation des enjeux présents et à venir, se base ainsi sur un enchaînement et une imbrication des différentes connaissances, qui éclairent progressivement les potentialités d'évolution des territoires et permettent de définir des**

modalités d'intervention en adéquation avec leurs trajectoires. Lors de l'analyse des propriétés des trajectoires et des espaces à enjeux, la prise en compte du détail des caractéristiques locales s'est trouvée confrontée à la volonté de mener une analyse comparée sur l'ensemble de l'Arc Latin. Néanmoins, l'hypothèse H1, selon laquelle une connaissance rétrospective des dynamiques et des logiques d'évolution du peuplement peut informer sur les évolutions prochaines du processus de littoralisation, a pu être validée. Il nous semble que l'hypothèse H3, selon laquelle l'analyse prospective des trajectoires de peuplement peut fournir une information pertinente pour une gestion anticipatrice et différenciée des dynamiques de littoralisation, puisse être validée au niveau théorique. Partager ces connaissances avec les gestionnaires à différents échelons territoriaux de l'Arc Latin et voir comment elles peuvent être mobilisées constituent une perspective majeure pour ce travail de recherche. Dans une même optique de durabilité territoriale, la partie suivante développe d'autres méthodes d'analyse des potentialités d'évolution des territoires littoraux, axées sur l'évaluation des capacités d'adaptation au changement climatique.

TROISIEME PARTIE

EVALUATION DE L'ADAPTABILITE DES TERRITOIRES LITTORAUX AU CHANGEMENT CLIMATIQUE

La troisième partie de cette thèse présente deux approches d'analyse de l'adaptabilité des territoires littoraux au changement climatique, c'est-à-dire du potentiel en fonction duquel l'adaptation peut être mise en place. La définition de mesures d'adaptation qui soient en adéquation avec les territoires rend indispensable la prise en considération de leur fonctionnement, de leurs dynamiques d'évolution et de leur adaptabilité. Ainsi, les deux approches développées se basent sur une analyse systémique et spatiale des territoires. La première approche, au Chapitre V, propose une exploration de l'adaptabilité de territoires fictifs par la simulation de mesures d'adaptation. Dans le Chapitre VI, la seconde approche développe une méthode de diagnostic territorial permettant d'identifier les éléments fondateurs de l'adaptabilité du système camarguais, et les mécanismes qui vont à l'encontre de son adaptation à la montée du niveau de la mer.

Chapitre V. Analyse de l'adaptabilité par modélisation du fonctionnement de systèmes territoriaux et simulation de l'effet de mesures d'adaptation : Occupations du sol et consommations d'eau de territoires littoraux fictifs face à l'évolution des paramètres climatiques

Les pays méditerranéens sont particulièrement vulnérables aux conséquences du changement climatique sur les ressources en eau et leurs usages (Plan Bleu 2011b). L'accroissement des consommations d'eau dans les secteurs agricoles et urbains est confronté à une dégradation croissante des ressources en eau. Cette problématique met en interrelation de nombreuses composantes anthropiques et naturelles des territoires. Nous l'avons ainsi choisie pour développer une démarche exploratoire d'analyse de l'adaptabilité de territoires fictifs par la simulation. L'adaptabilité des consommations d'eau face à l'évolution du climat est explorée par la simulation de mesures d'adaptation et l'analyse de leurs effets pour différents types d'espaces et de scénarios. Cette problématique renvoie à une modélisation du territoire de type systémique et aussi spatiale. En effet, le fonctionnement et l'évolution des territoires littoraux sont liés à la répartition des activités dans l'espace. Cette recherche vise ainsi à montrer comment l'organisation spatiale joue dans l'adaptabilité des territoires, comment différents types de mesures d'adaptation impactent l'évolution des territoires et les consommations d'eau, ou encore comment les effets de diverses mesures d'adaptation peuvent se combiner et interagir avec d'autres politiques territoriales, dans une perspective de durabilité territoriale.

1. Une démarche exploratoire de l'adaptabilité de systèmes territoriaux par la simulation

L'adaptabilité des territoires est un potentiel sous-jacent difficile à appréhender. La simulation offre un environnement qui permet, par la modélisation systémique et spatiale du fonctionnement des territoires, d'explorer leurs évolutions selon différents scénarios. Elle offre ainsi la possibilité d'explorer leur adaptabilité, en comparant les effets de diverses

mesures d'adaptation au changement climatique pour des organisations spatiales initiales, des scénarios d'évolution climatique et des politiques territoriales différentes.

1.1. Une modélisation à la fois systémique et spatiale de l'évolution de territoires littoraux fictifs

1.1.1. Une analyse du fonctionnement et de l'évolution d'un territoire par la modélisation en dynamique des systèmes

Afin d'analyser l'effet de mesures d'adaptation sur un territoire, la première étape consiste à modéliser son fonctionnement et ses dynamiques d'évolution. Appréhendant le territoire comme un système complexe, constitué d'un ensemble d'éléments en interrelation, la méthode choisie relève de la modélisation systémique.

L'approche systémique permet de construire des modèles formels de simulation pour comprendre le comportement des systèmes géographiques, et d'approfondir la connaissance théorique sur le fonctionnement de l'espace organisé par les sociétés humaines et ses relations avec l'environnement naturel (Le Berre 1987b, Le Berre et Uvietta 1989). S'inscrivant dans le cadre de la théorie générale des systèmes, la dynamique des systèmes correspond à une méthode de modélisation développée par J.W. Forrester (1969, 1984). Elle permet de simuler le comportement de systèmes complexes dans le temps. La modélisation systémique a par exemple déjà été employée pour simuler le comportement de la nappe phréatique d'une plaine alluviale (Guigo et Le Berre 1989) et l'impact de différentes activités (extraction de matériaux dans le lit du fleuve, pompes à des fins agricoles) et aménagements (barrages). Le système est modélisé dans un diagramme sagittal, où sont précisées ses différentes composantes et les relations qui les unissent, sous forme de stocks et de flux. Les relations sont formalisées par des équations et des règles logiques (de type If/Then). Ainsi, le logiciel Stella, qui est l'un des logiciels le plus répandu de modélisation de type forrestérienne (Provitolo 2006), comprend deux volets : un module graphique qui sert à construire le diagramme sagittal et un module mathématique qui est un ensemble d'équations différentielles définies à partir du module graphique. Les principaux symboles utilisés dans le module graphique du logiciel Stella pour représenter les éléments de base du modèle sont les stocks (ou variable d'état), les flux, les variables auxiliaires et les canaux d'information (Tableau 22).

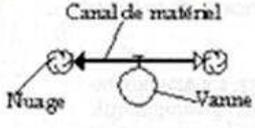
	<p>Les stocks ou réservoirs, dont le formalisme graphique est un rectangle, sont les variables de niveau ou d'état. Ils fonctionnent comme des accumulateurs. Ainsi, les variables d'état représentent des stocks dont la quantité varie à travers le temps en fonction des flux d'entrée et de sortie qui les alimentent et les vident. La valeur de ces stocks renseigne sur l'état du système à chaque instant t. Les stocks sont utilisés pour représenter tant des accumulations matérielles (l'eau, les individus) qu'immatérielles (la connaissance).</p>
	<p>Les flux transitent par le réservoir et en modifient donc l'état. Ils déterminent les variations dans les différents niveaux du système. Les vannes contrôlent les débits des différents flux. Chaque vanne peut être considérée comme un centre de décision, recevant des informations et les transformant en actions. En l'absence de flux, aucun changement dans la magnitude des stocks n'est possible.</p>
	<p>Les variables auxiliaires, représentées par un cercle, apparaissent dans le canal d'information. Elles peuvent être une constante, ou une fonction tabulée en fonction du temps t ou d'une variable quelconque. Ces variables auxiliaires sont très utiles pour intégrer de l'information qualitative et des délais dans les modèles. Elles permettent également de coupler des flux de nature différente, par exemple un flux d'automobiles et un flux d'hommes.</p>
	<p>Le canal d'information permet de connecter entre elles les variables du système et de simuler les rétroactions.</p>

Tableau 22. Présentation des principaux symboles du module graphique du logiciel Stella (Provitolo 2006)

Le modèle que nous développons se base en partie sur une modélisation en dynamique des systèmes réalisée avec C. Voiron-Canicio, N. Dubus et J-C. Loubier (Voiron-Canicio 2009) pour évaluer les impacts du changement climatique sur le fonctionnement de la région urbaine niçoise. Ce modèle était destiné à mesurer les impacts des changements progressifs des paramètres physiques du climat local – température, précipitations, variabilité saisonnière et événements extrêmes – sur l'anthroposystème urbain. Celui-ci est appréhendé à travers six composantes majeures : les ressources en eau, la croissance de la population, la fréquentation touristique, l'occupation du sol, la consommation d'eau selon le type d'habitat et selon le type d'agriculture (Figure V-1). La modélisation en dynamique des systèmes permet de faire interagir les changements climatiques avec les composantes environnementales et anthropiques du territoire. Afin d'étudier comment l'organisation spatiale d'un territoire joue sur son adaptabilité, notre objectif est, d'une part, de développer et d'intégrer l'espace dans ce modèle et, d'autre part, de rendre possible l'implémentation de mesures d'adaptation de différentes natures. Dans une visée heuristique, l'application porte sur des espaces théoriques, correspondant à des territoires fictifs. Cette approche permet d'expérimenter avec une grande souplesse. Elle offre la possibilité de comparer les résultats des simulations pour tout type de modification de paramètre et ainsi d'identifier les éléments qui sont à l'origine de résultats ou de processus différents d'une simulation à l'autre.

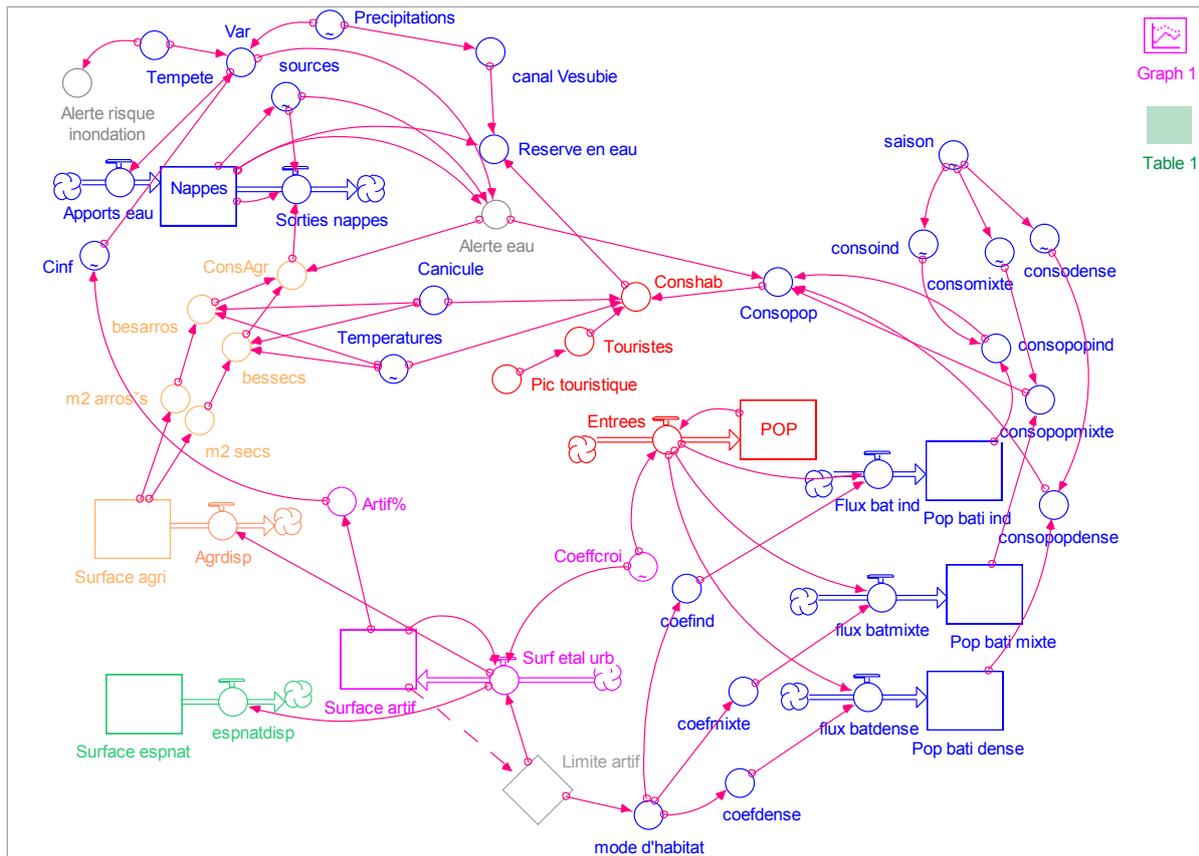


Figure V-1. Diagramme causal développé dans Voiron-Canicio et al. 2009

Même si la dynamique de système n'est pas spatialement explicite, des applications variées ont été développées en géographie, comme le modèle AMORAL (Analyse et Modélisation Rurale des Alpes, Chamussy *et al.* 1986), le modèle d'un système en zone frontalière franco-suisse (Chéry 1998) et le modèle de « catastrophe » urbaine associant aléa, vulnérabilité et effets de dominos (Provitolo 2002, 2005). L'espace peut être introduit par l'utilisation de distances relatives dans les variables ou par le dédoublement de la structure du modèle afin de représenter différents sous-systèmes spatiaux. Selon C. Voiron et J.-P. Chéry (2005), l'espace garde généralement le statut de support et de modalité de désagrégation du système en sous-systèmes localisés. Une matrice de voisinage ou de distance peut être introduite dans la structure du modèle, mais elle est limitée à un nombre réduit de zones (Chéry 1998, Sanders P. et Sanders F. 1998). C. Voiron et J.-P. Chéry soulignent la possibilité et l'intérêt d'une mise en relation de la modélisation en dynamique des systèmes avec une modélisation basée sur les automates cellulaires qui permettrait d'intégrer des relations de voisinage plus complexes et les contraintes de changements liées à ces relations spatiales.

1.1.2. Avec la modélisation basée sur les automates cellulaires, deux environnements de modélisation complémentaires

Les automates cellulaires offrent un « cadre conceptuel et méthodologique particulièrement approprié pour explorer, de manière expérimentale, les relations entre fonctionnement et forme » (Moreno *et al.* 2012). Les automates cellulaires, dont le principe a été élaboré par S. Ulam et J. von Neumann (Von Neumann 1966), ont été utilisés pour la première fois en géographie par W. Tobler (1979) pour simuler les changements d'utilisation du sol. En effet, les automates cellulaires à deux dimensions permettent de formaliser l'espace sous la forme d'une grille régulière de cellules. Chaque cellule est caractérisée par un état, qui évolue en fonction des caractéristiques des cellules voisines selon des règles de transition. Ainsi, l'état d'une cellule à $t+1$ dépend de son état et de celui des cellules voisines au temps t . À partir de règles simples, les automates cellulaires peuvent produire des comportements complexes (Wolfram 1984). Spatialement explicites, les modèles basés sur les automates cellulaires sont particulièrement répandus pour la simulation rétrospective et prospective du développement urbain (White et Engelen 1993, Batty et Xie 1994, Langlois et Phipps 1997, Papini *et al.* 1998, Barredo *et al.* 2003, Dubos-Paillard *et al.* 2003, Engelen *et al.* 2007). Ils permettent d'étudier les effets de la proximité dans les processus d'urbanisation (Moreno *et al.* 2012) et par exemple de comparer l'influence des différents facteurs spatiaux pour divers modèles de ville (Clarke 2003, Cagliioni *et al.* 2006). Les automates cellulaires donnent ainsi la possibilité d'intégrer les relations spatiales dans la modélisation des systèmes dynamiques complexes.

Un couplage entre automate cellulaire et modèle de type « stock-flux » a été mis en pratique dans le modèle SIMURB (Langlois et Phipps 1997). Ce modèle, développé par A. Langlois et M. Phipps, permet de simuler la diffusion spatiotemporelle de l'urbain et du périurbain sous différentes hypothèses de croissance de cinq types de population. Le modèle rassemble (Figure V-2) :

- une matrice des probabilités de transition entre états ;
- quatre fonctions de distribution spatiale : combinées avec la matrice de transition, elles permettent de définir les probabilités locales de chaque cellule selon leur centralité, leur accessibilité, leur environnement et la disponibilité des terres ;
- un module dynamique de type forrestérien, modélisant les interactions entre les variables de population, d'habitat et d'emploi et pouvant faire varier les probabilités de transition, au regard de la distribution spatiale ;
- un module concernant les périmètres réglementaires permet d'interdire certains changements d'états.

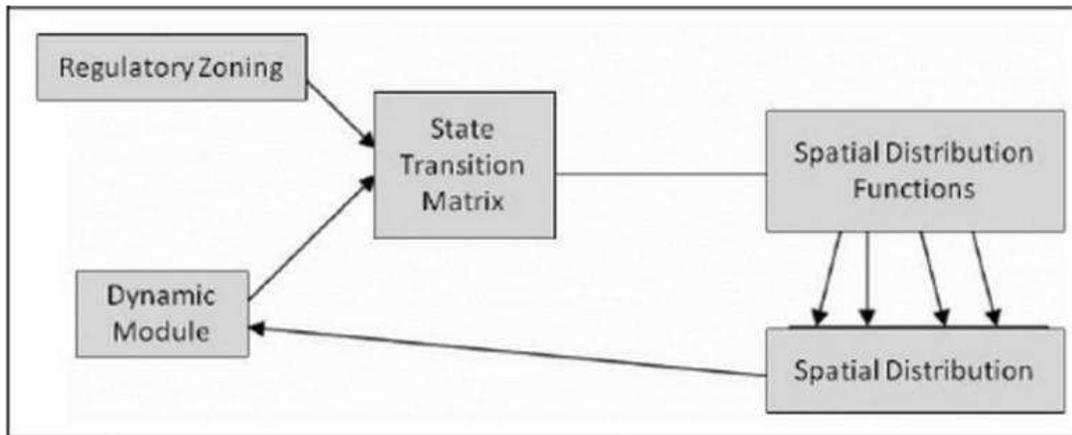


Figure V-2. Architecture générale de SIMURB (Langlois et Phipps 1997)

En ce qui concerne notre analyse de l'adaptabilité de territoires fictifs, la modélisation par automate cellulaire permet de simuler l'évolution de l'occupation des sols pour différentes configurations spatiales initiales (Figure V-3). Différentes politiques territoriales peuvent en outre être intégrées. L'évolution des surfaces occupées par les différentes activités du territoire (agriculture sèche, arrosée, habitat de type individuel, mixte et collectif) sert d'entrée au modèle systémique. À partir de ces données et de variables climatiques et hydrologiques, le modèle en dynamique des systèmes simule l'évolution des consommations d'eau et celle du niveau de la réserve en eau. Leur mise en relation dans le temps permet de faire apparaître des situations de tensions ou de crise. L'efficacité des mesures d'adaptation peut ainsi être évaluée. Le couplage des deux modèles n'intègre pour l'instant pas de rétroaction du modèle en dynamique des systèmes sur l'automate cellulaire mais cet aspect fera partie de prochains développements (cf. Chapitre V.2.3). En outre, le processus de simulation conduit par incrémentation à concevoir et tester de nouvelles mesures d'adaptation en fonction des résultats précédemment observés. Au final, la complémentarité de l'automate cellulaire et du modèle en dynamique des systèmes permettent d'appréhender la complexité de l'évolution du système territorial dans l'espace et dans le temps.

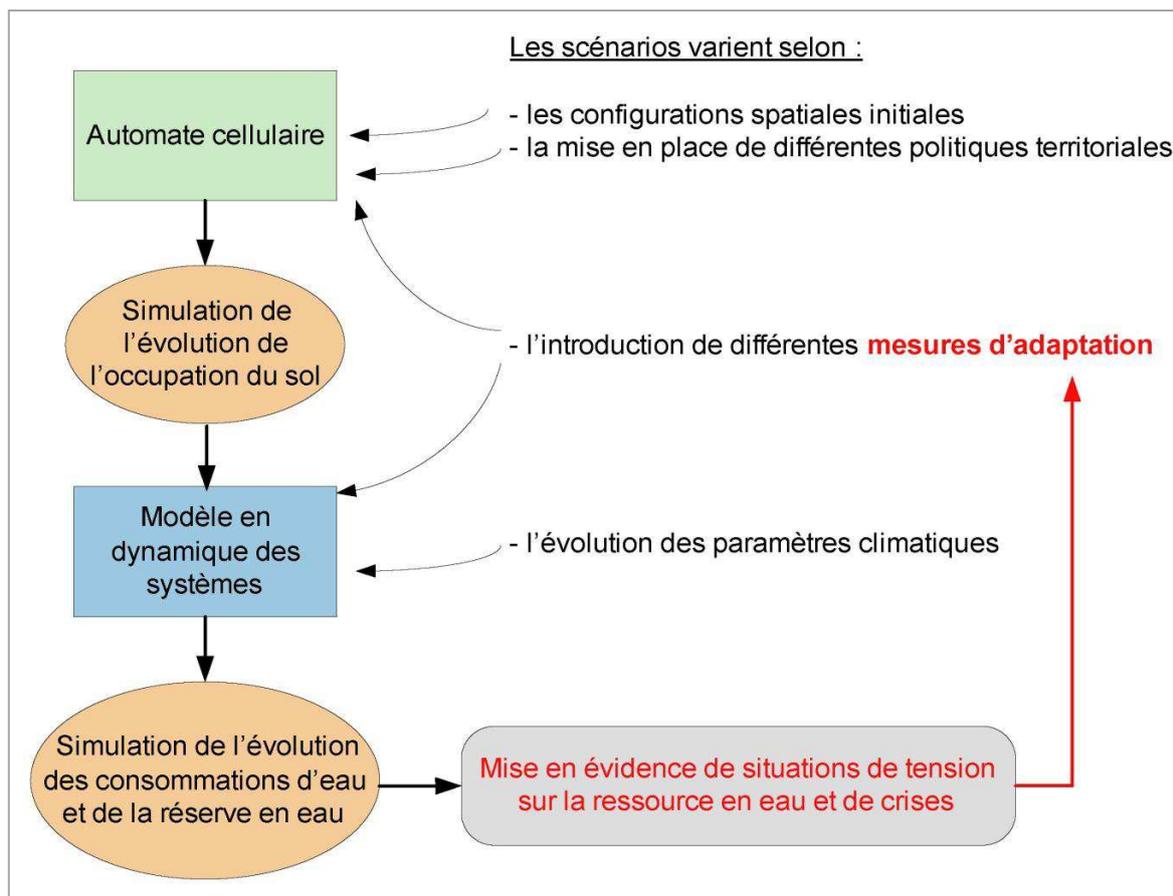


Figure V-3. Démarche d'analyse de l'adaptabilité de territoires fictifs, articulant automate cellulaire et modèle en dynamique des systèmes

Pour la partie basée sur les automates cellulaires, nous avons choisi d'utiliser la plateforme de modélisation SpaCelle, réalisée par Patrice Langlois (UMR IDEES – Rouen/MTG). Le logiciel Spacelle ne contient pas de modèle programmé mais fournit une interface permettant de décrire le comportement de l'automate cellulaire par une série de règles, exprimées dans un langage de représentation des connaissances spatiales (Langlois 2005a). L'utilisateur définit une configuration initiale (sur une ou plusieurs couches représentant l'espace analysé), des règles des transitions possibles entre les différents états qualitatifs que peuvent prendre les cellules, et les règles de vie des cellules. Le principe de concurrence est bien adapté à notre thématique : à travers la question de la pression urbaine s'exerçant sur les espaces agricoles et naturels, c'est la concurrence pour l'espace que nous cherchons à modéliser de manière spatiale et dynamique. Nous reproduisons ici les explications donnés par P. Langlois concernant ce principe de concurrence, la formalisation des règles et le mode de fonctionnement de SpaCelle (Langlois 2005a, p.342) :

« [Le principe de concurrence] se manifeste entre la « force de vie » d'une cellule et les « forces environnementales » émanant des autres cellules. Lorsqu'une cellule est affectée d'un nouvel état, c'est la naissance d'un individu (cellulaire). Il est alors affecté d'une durée maximale de vie (dans cet état) qui dépend de sa classe (DI :

durée infinie, DF : durée fixée, DA : durée aléatoire selon une espérance de vie et un écart-type). À sa mort naturelle, un individu change d'état et prend l'état de mort défini dans la règle de vie de sa classe. Un individu possède ainsi une force de vie qui vaut 1 à sa naissance, et décroît linéairement jusqu'à 0 à sa mort naturelle. Mais un individu peut mourir prématurément si une des forces environnementales qui agissent sur lui, dépasse sa propre force de vie.

Par exemple, la règle de vie « Pav > Fri = DA(100 ;25) » signifie que la classe « Pav » (type pavillonnaire), devient « Fri » (une friche) après sa mort et possède une durée de vie aléatoire (DA) selon une espérance de vie de 100 ans et un écart-type de 25 ans.

Les forces environnementales sont définies par les règles de transition qui sont construites sur le modèle syntaxique suivant : « État₁ > État₂ = Expression ». Le terme « Expression » représente une fonction d'interaction spatiale ou une combinaison de telles fonctions. Une fonction d'interaction spatiale s'écrit le plus souvent sous la forme $F(X ;R)$ et permet d'évaluer, pour chaque cellule, la « force environnementale » due aux individus de type X dans un rayon R autour de la cellule. Par exemple, si X est « Ind+Com » cela représente la sous-population des cellules de type « industrie » ou de type « commerce ». R est le rayon du disque définissant le voisinage d'action de X sur la cellule. La fonction F représente le type d'interaction qui est calculé. Il existe une vingtaine de fonctions prédéfinies. »

La pertinence géographique de ce modèle a été testée à travers une expérimentation concernant l'évolution de l'espace urbain de Rouen pendant les cinquante dernières années, qui a permis de valider d'une part le modèle général et d'autre part la base de règles pour l'agglomération rouennaise (Dubos-Paillard *et al.* 2003).

Nous avons utilisé cinq de ces fonctions (Tableau 23), souvent de manière combinée. Pour les combinaisons de fonctions, le signe de la multiplication « * » correspond à la conjonction « et », alors que la conjonction « ou » se traduit par la signe de l'addition « + ». Ainsi, la règle de transition « Nat>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AV(Nat;3) » correspond à la phrase « une zone naturelle peut devenir une zone d'habitat individuel lorsque la présence d'habitat individuel ou mixte est forte dans un voisinage de 2 et lorsque la non-présence d'espaces naturels est forte dans un voisinage de 3 ». Les proportions de présence et de non-présence sont comparées avec la durée de vie de la cellule.

Fonction de proximité	
PV(Y;R)	proportion de présence de la population Y dans le voisinage de rayon R
AV(Y;R)	proportion de non-présence de Y dans le voisinage de rayon R
ZV(Y; R)	1 s'il n'existe aucun individu de Y dans le voisinage de rayon R, sinon 0
Fonction d'accessibilité	
AC(Y;R)	accessibilité aux états de Y selon un demi-effet à distance R
Fonction démographique	
DE(Y; Max)	vaut 1 si la densité d de la population Y est égale à 0, tend vers 0 si $d \geq \text{Max}$

Tableau 23. Présentation des fonctions d'interaction employées

L'utilisation d'un temps discret dans l'automate cellulaire comme dans la modélisation en dynamique des systèmes rend possible leur couplage. Les résultats de l'automate cellulaire (l'évolution des surfaces des différents types d'utilisation des sols) sont introduits comme variable dans le modèle en dynamique des systèmes. Dans les deux modèles, les simulations sont effectuées au pas de temps trimestriel, du printemps 2010 à l'hiver 2060.

1.2. Modélisation de l'évolution de l'occupation du sol au moyen d'un automate cellulaire

1.2.1. Définition des espaces fictifs initiaux

Afin de tester l'influence de l'organisation spatiale sur l'évolution et l'adaptabilité d'un territoire, deux configurations spatiales sont créées. La première correspond à un modèle de ville littorale compacte, tandis que la seconde correspond à un modèle de ville littorale plus éclatée, présentant une forte propension au mitage. Pour rendre comparable ces deux configurations spatiales, les mêmes surfaces sont affectées aux différents types d'occupation du sol. L'espace fictif représenté s'étend sur une surface de 20 sur 20 km, divisée en 10 000 mailles de 200 mètres sur 200 mètres. La limite inférieure correspond au trait de côte. Les deux espaces fictifs présentent 1% de bâti collectif dense (4 km²), 4% de bâti mixte (16 km²), 4% de bâti individuel, 5% d'agriculture sèche (20 km²), 5% d'agriculture arrosée et 81% d'espaces naturels (324 km²). La Figure V-4 et la Figure V-5 montrent la répartition de ces surfaces pour chacun des espaces fictifs. Ces deux modèles de ville font, dans le domaine du changement climatique, l'objet d'un débat sur les formes urbaines idéales. Selon F. Bertrand (2012), cette dualité, même si elle est contestable, permet une lecture des enjeux du changement climatique au regard des organisations urbaines : « si la forme compacte semble plus économe énergétiquement, l'augmentation de densité des espaces urbains concentre les enjeux et peut accroître la vulnérabilité à certains épisodes climatiques ».



Figure V-4. Configuration initiale 2 : ville littorale compacte

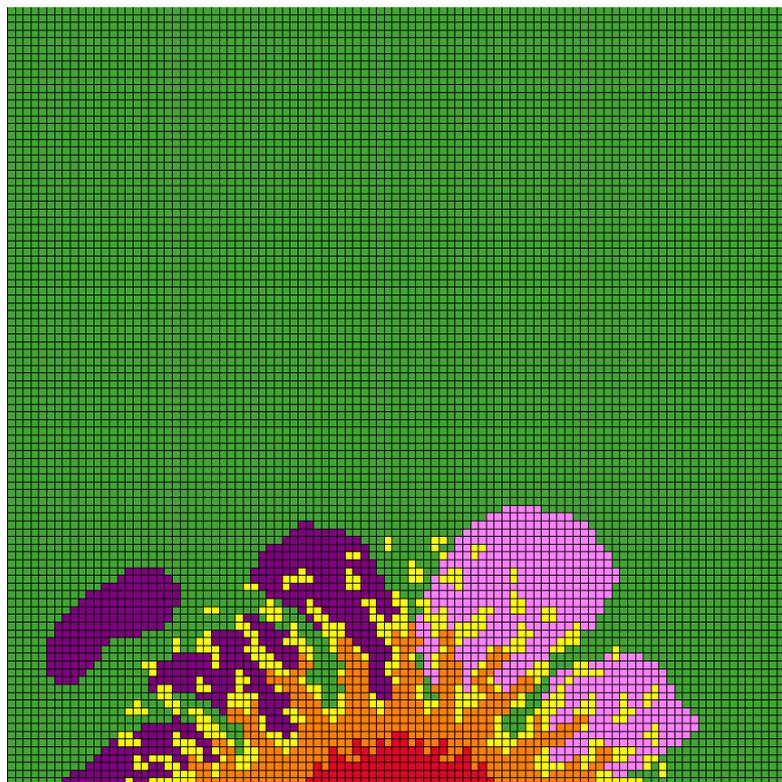


Figure V-5. Configuration initiale 2 : ville littorale mitée

	Bâti collectif	Col		Bâti mixte	Mix
	Bâti individuel	Ind		Espaces naturels	Nat
	Agriculture arrosée	Arr		Agriculture sèche	Sec

Nous avons fixé le nombre d'habitants des différents types de bâti à 200 habitants par cellule pour le bâti individuel, 400 habitants par cellule pour le bâti mixte et 800 habitants par cellule pour le bâti collectif. Ces valeurs correspondent respectivement à des densités de 5000, 10 000 et 20 000 habitants par km². Présentant les mêmes surfaces pour les différents types de bâti, nos deux espaces fictifs rassemblent le même nombre d'habitant dans leur configuration de départ (320 000 habitants).

1.2.2. Scénario non-interventionniste

▪ Définition des règles de transition

Le premier scénario, qualifié de non-interventionniste consiste en une évolution où le bâti individuel progresse préférentiellement sur les espaces agricoles, mais aussi sur les espaces naturels. Pour traduire cette dynamique, la durée de vie des espaces naturels est fixée à une valeur plus élevée que celle des espaces agricoles (Tableau 24).

Durées de vie	Règles de transition
Arr>Arr=DA(800,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AV(Arr+Sec;3)
Sec>Sec=DA(800,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;3)*AC(Att;1)
Ind>Ind=DA(1300,200)	
Nat>Nat=DA(1300,200)	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;2)* AV(Arr+Sec;3)
Col>Col=DI	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;3)*AC(Att;1)
Att>Att=DI	
	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;2)* AV(Nat;3)
	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;3)*AC(Att;1)
	Ind>Mix=PV(Mix;1)
	Ind>Mix=PV(Mix;2)*AC(Att;1)

Tableau 24. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie du scénario sans intervention

La transition d'une cellule d'agriculture sèche ou arrosée vers le bâti individuel est fonction de la proportion de présence de bâti individuel et mixte dans un voisinage très proche (jusqu'à deux cellules), et de la proportion de non-présence d'agriculture sèche et arrosée dans un voisinage légèrement élargi (jusqu'à trois cellules). La distance considérée est euclidienne. Le voisinage d'une cellule correspond alors à un disque centré sur cette cellule, et la distance correspond au rayon de ce disque. Au niveau du paramétrage de l'automate cellulaire, la taille des cellules est fixée à 1, qui correspond à 200 m sur notre espace fictif. La Figure V-6 montre qu'un voisinage de distance 1 correspond aux 8 cellules alentours, un voisinage de rayon 2 compte 21 cellules, et un voisinage de rayon 3 englobe 45 cellules.

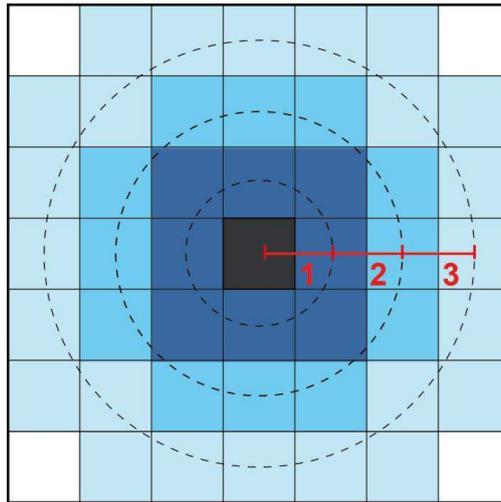


Figure V-6. Voisinages de la cellule grisée pour des distances euclidiennes de valeur 1, 2 et 3

L'attractivité littorale (Att) est introduite par une deuxième règle, au moyen d'une fonction d'accessibilité au bord de mer (Tableau 24). Lors des simulations, la valeur d'accessibilité de chaque cellule est calculée par rapport à sa distance au trait de côte, qui est préalablement modélisé dans l'automate cellulaire sous forme d'une ligne suivant la limite inférieure de l'aire d'étude. Ces deux règles se complètent pour exprimer la dynamique radioconcentrique de croissance de l'aire urbaine d'une part et la dynamique de développement privilégié du littoral d'autre part.

Les transitions d'espace naturel vers bâti individuel sont régies par deux règles analogues, c'est-à-dire fonction de la proportion de présence de bâti individuel et mixte, de la proportion de non-présence d'espaces naturels, et de la proximité au littoral.

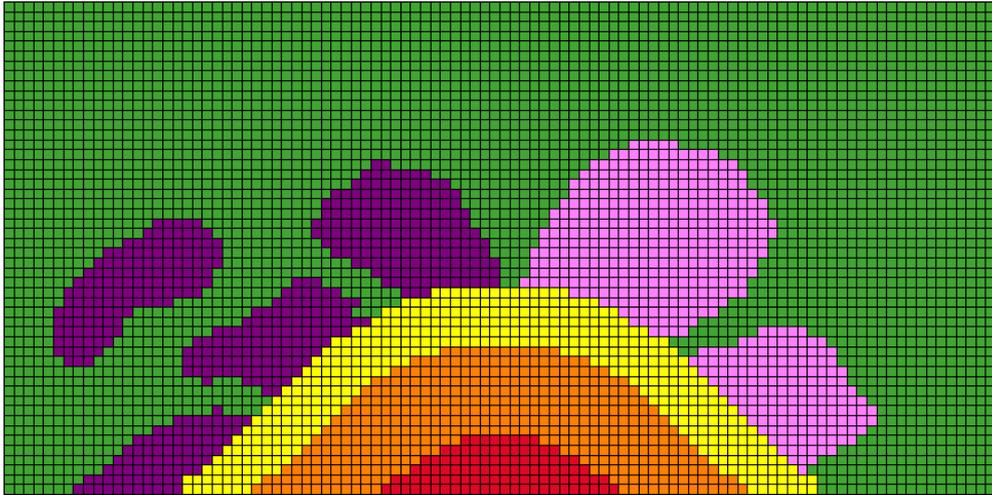
La dernière transition possible concerne le bâti individuel qui peut se densifier pour devenir du bâti mixte. Cette transition est fonction de la proportion de la présence de bâti mixte dans un voisinage proche et de la proximité au littoral.

La définition des durées de vie a servi au calibrage du modèle. Nous avons cherché à nous rapprocher d'un taux de croissance annuel moyen de la population de 1% sur la période 2010-2060.

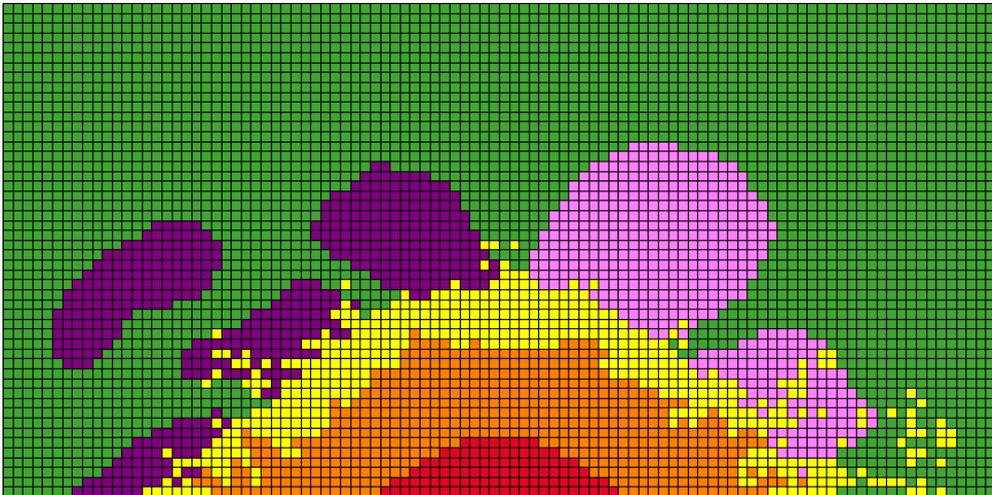
▪ Résultats des simulations

Sur les deux espaces fictifs, certaines évolutions spatiales sont semblables : l'urbanisation se développe préférentiellement en bordure des espaces agricoles et en débordant sur les espaces naturels voisins. Les résultats sont néanmoins différents en fonction de la configuration spatiale initiale (Figure V-7 et Figure V-8).

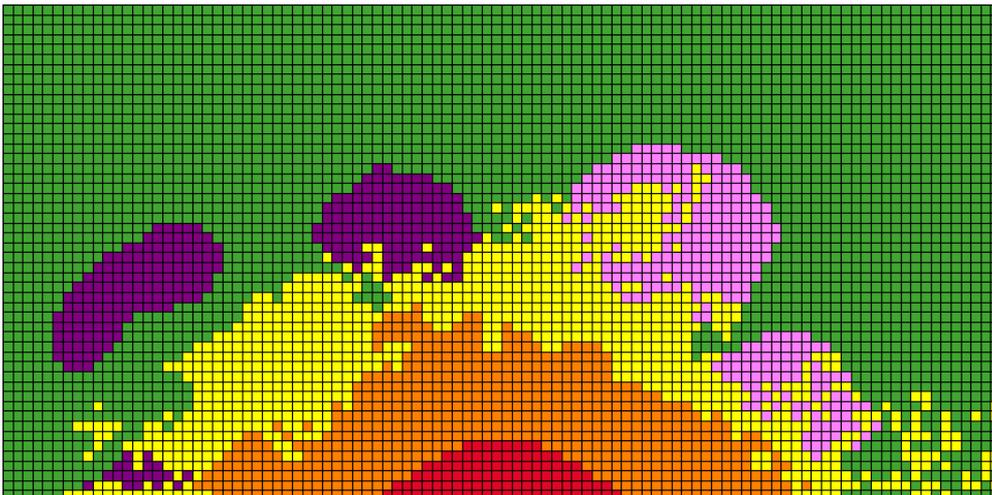
Pas de temps 0 :



Pas de temps 100 (25 ans) :



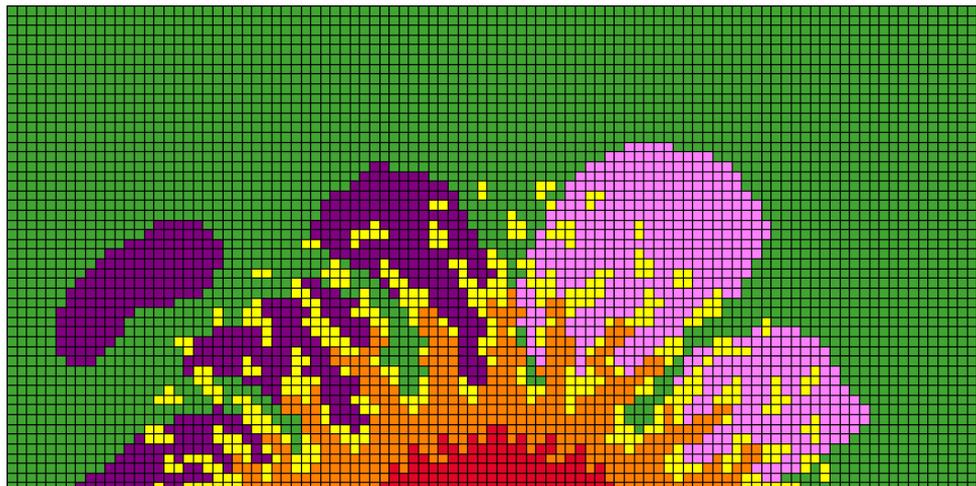
Pas de temps 200 (50 ans) :



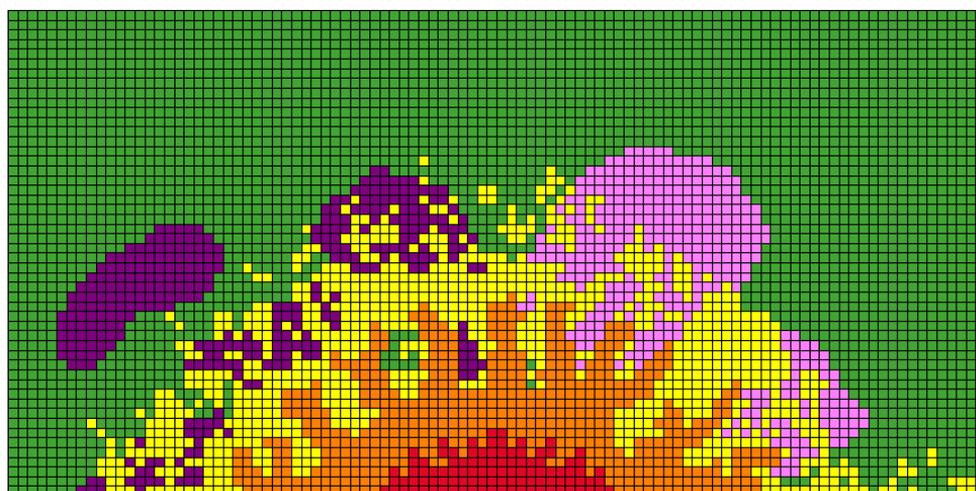
	Bâti collectif	Col		Bâti mixte	Mix
	Bâti individuel	Ind		Espaces naturels	Nat
	Agriculture arrosée	Arr		Agriculture sèche	Sec

Figure V-7. Evolution du modèle compact selon le scénario non-interventionniste (zoom)

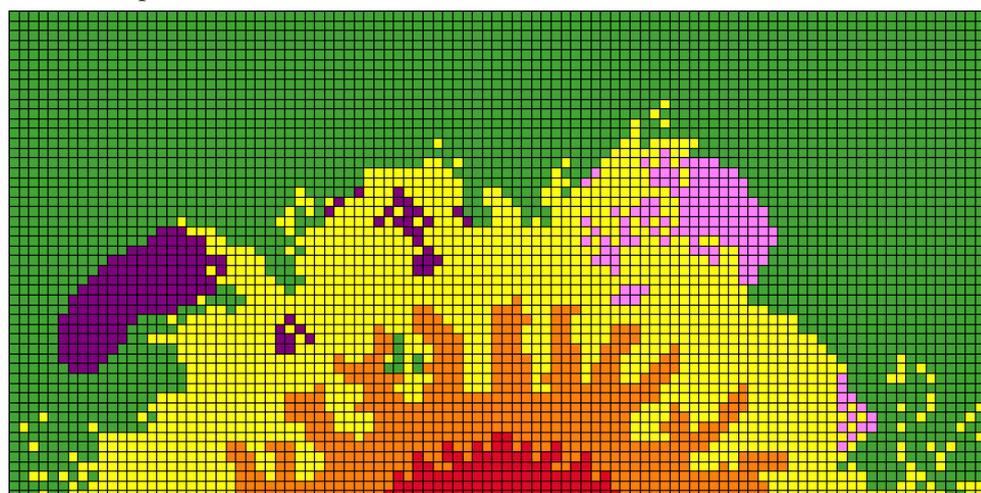
Pas de temps 0 :



Pas de temps 100 (25 ans) :



Pas de temps 200 (50 ans) :



	Bâti collectif	Col		Bâti mixte	Mix
	Bâti individuel	Ind		Espaces naturels	Nat
	Agriculture arrosée	Arr		Agriculture sèche	Sec

Figure V-8. Evolution du modèle éclaté selon le scénario non-interventionniste (zoom)

L'espace urbain mité présente des zones de contact bien plus étendues avec les espaces agricoles et naturels, qui favorisent son extension. Les zones de bâti se développent par coalescence. Pour le modèle d'aire urbaine compacte, les zones de bâti ne présentent que quelques incursions à l'intérieur des espaces agricoles et ont plutôt tendance à pénétrer vers l'intérieur des terres agricoles à partir de leurs bordures. Ainsi, et alors que les deux modèles sont dotés des mêmes règles d'évolution, l'habitat individuel atteint les 33 km² en 2060 pour l'aire urbaine compacte (Figure V-9), tandis qu'il dépasse les 53 km² pour l'aire urbaine éclatée (Figure V-10).

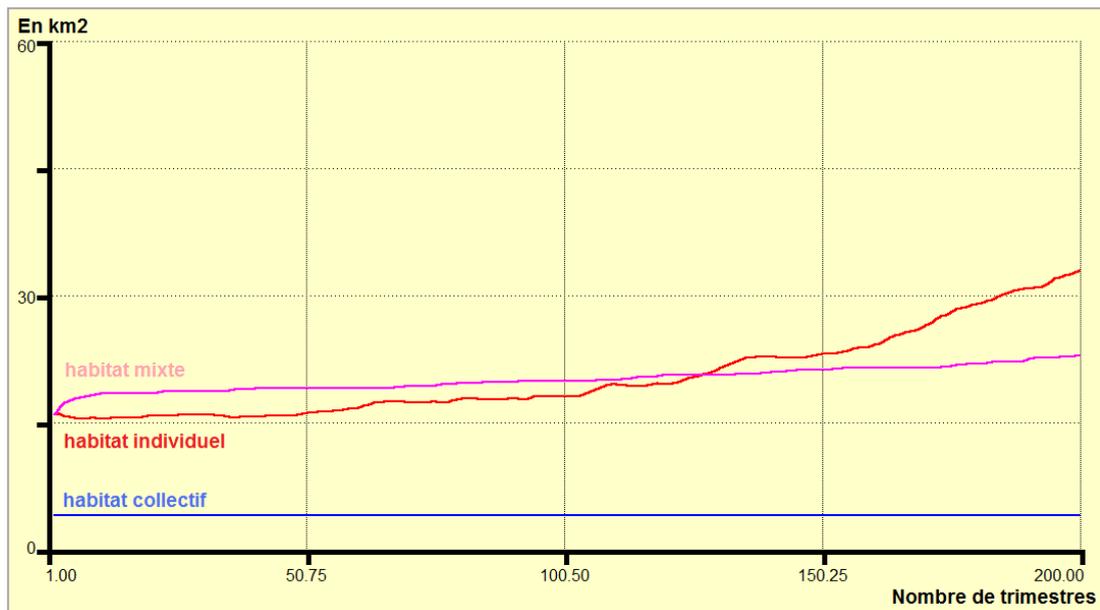


Figure V-9. Evolution des différents types de bâti (modèle compact, scénario non-interventionniste)

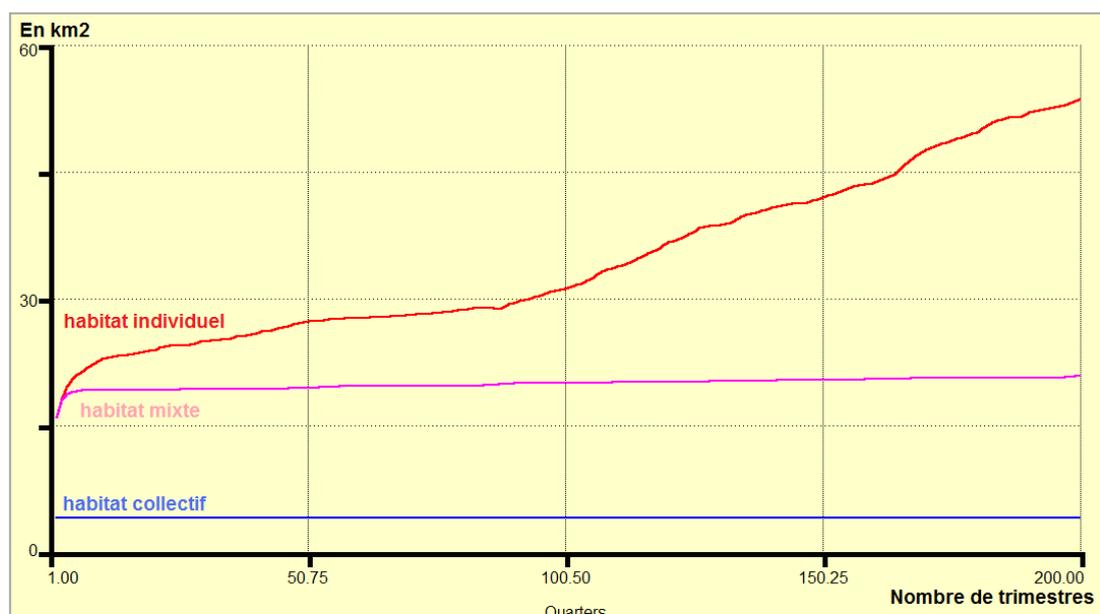


Figure V-10. Evolution des différents types de bâti (modèle éclaté, scénario non-interventionniste)

L'accroissement de la superficie d'habitat mixte est légèrement inférieur dans le cas de l'aire urbaine éclatée (20 km² en 2060 contre 23 km² pour le modèle compact). La population,

initialement de 320000 habitants, s'élève en 2060 à 474600 habitants pour le modèle compact et à 557400 habitants pour le modèle éclaté, soit un taux de croissance annuel moyen respectif de 0,79% et de 1,12%. En conséquence, les espaces agricoles restant représentent une superficie de 23 km² dans le cas du modèle compact et seulement 12 km² pour le modèle éclaté. Le mitage a en outre favorisé l'extension du bâti de type individuel sur le bord de mer, qui est presque entièrement urbanisé.

1.2.3. Scénario interventionniste pour une protection des espaces agricoles et littoraux

▪ Définition des règles de transition

En réponse au premier scénario, un second est développé afin de simuler les effets d'une politique interventionniste visant à protéger les espaces littoraux et les espaces agricoles. Dans ce scénario, une bande littorale de 200 mètres à partir du trait de côte d'une part et des zones d'agriculture sèche et arrosée d'autre part, font l'objet d'une protection qui les soustrait de la possibilité d'être urbanisées (à hauteur de 1,5% de la surface de l'aire d'étude pour chacun de deux types d'agriculture, soit 300 cellules au total ou 12 km²). Ces zones protégées sont représentées en Figure V-11.

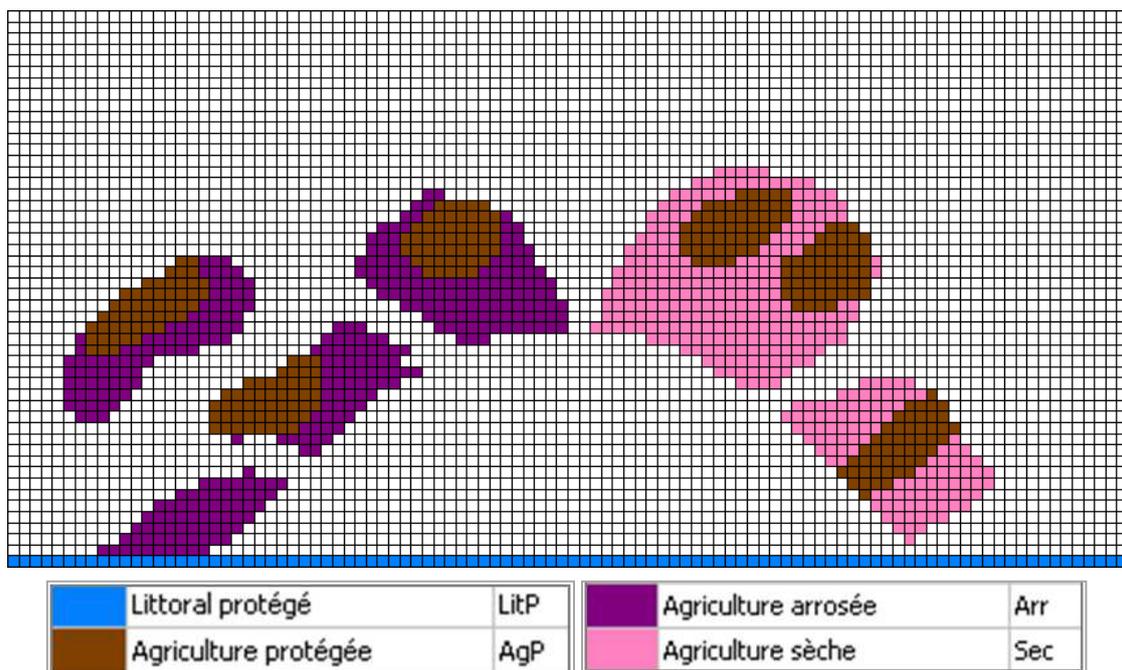


Figure V-11. Espaces agricoles et littoraux protégés (zoom)

La possibilité d'urbaniser uniquement en dehors de ces zones protégées est introduite dans les règles de transition vers l'habitat individuel en tant que nécessaire absence de cellules AgP (agriculture protégée) et LitP (littoral protégé) dans un voisinage de zéro, c'est-à-dire directement au niveau la cellule considérée. Les modifications introduites dans l'automate cellulaire sont surlignées en gris dans le Tableau 25. Considérant que la soustraction d'espaces

agricoles à la possibilité d'être urbanisés renforce la pression urbaine s'exerçant sur les espaces agricoles non-protégés, la durée de vie de ces derniers a été légèrement diminuée.

Durées de vie	Règles de transition
Arr>Arr=DA(700,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Sec>Sec=DA(700,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;3)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Ind>Ind=DA(1300,200)	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Nat>Nat=DA(1300,200)	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;3)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Col>Col=DI	
Att>Att=DI	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AV(Nat;3)*ZV(LitP;0)
AgP>AgP=DI	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;3)*AC(Att;1)*ZV(LitP;0)
LitP>LitP=DI	
	Ind>Mix=PV(Mix;1)
	Ind>Mix=PV(Mix;2)*AC(Att;1)
	Nat>Arr=PV(Arr;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Arr;0,045)
	Nat>Sec=PV(Sec;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Sec;0,045)

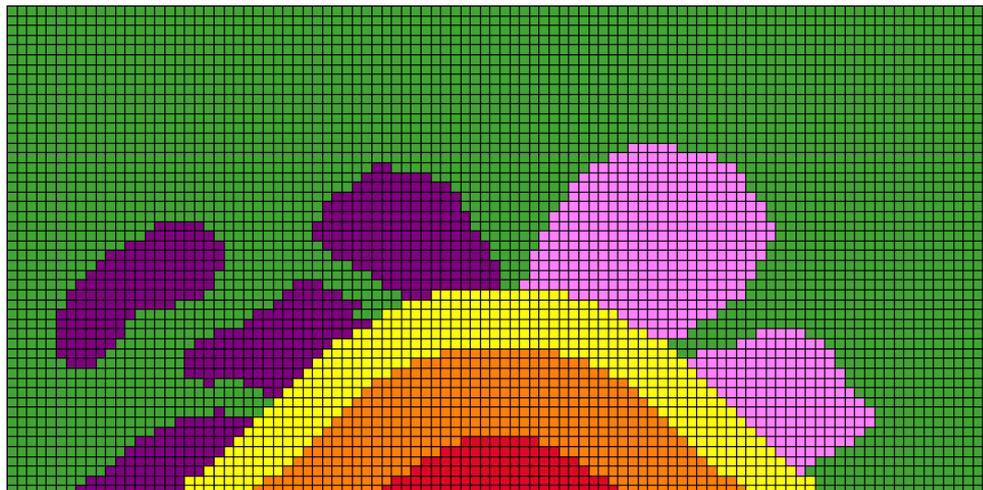
Tableau 25. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie du scénario avec intervention

D'autre part, dans ce scénario, les activités agricoles soumises au développement urbain sont relocalisées dans des zones éloignées du bâti. C'est ce qu'expriment les deux dernières règles du Tableau 25. Pour modéliser ce processus, la transition d'espace naturel à espace agricole est fonction de la proportion d'agriculture (sèche ou arrosée selon les cas) présente sur l'ensemble du domaine d'étude. La règle employée dans le modèle rend possible la transition d'espaces naturels vers la fonction agricole lorsque les surfaces agricoles sèches et arrosées deviennent respectivement inférieure à 4,5% sur l'ensemble de l'aire (elles sont de 5% au départ). Ces zones agricoles se relocalisent en fonction de la proportion de présence d'agriculture dans un voisinage de rayon 2 (soit 400 m) et de l'absence totale de bâti individuel et mixte dans un large voisinage (rayon 7 soit 1400 m). Ce phénomène de report s'observe dans les zones littorales où la pression urbaine et foncière est forte, et où des espaces sont néanmoins disponibles dans des endroits plus éloignés (par exemple dans le département du Var). On peut imaginer, dans le cadre de ce scénario, qu'une telle dynamique pourrait être soutenue par les autorités publiques, dans la volonté de conserver l'activité agricole dans le territoire. Les espaces agricoles revêtent en effet des rôles divers – paysager, économique, environnemental, ou encore patrimonial – qui peuvent en faire des espaces d'intérêt pour un développement territorial durable.

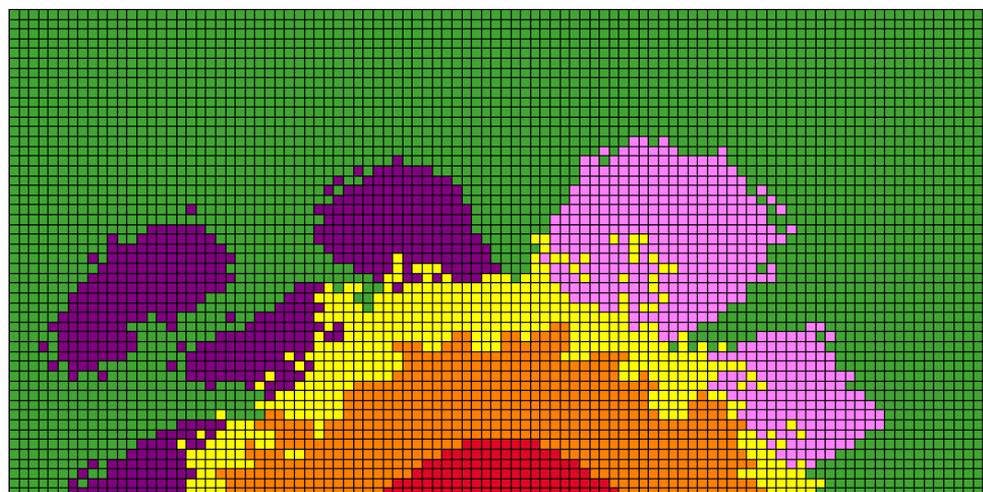
▪ **Résultats des simulations :** Les résultats montrent dans les deux cas une urbanisation moins poussée que pour le scénario non-interventionniste et une extension des zones agricoles vers l'arrière-pays (Figure V-12 et Figure V-13)⁴⁹.

⁴⁹ La ligne turquoise apparaissant sur la limite inférieure de certains enregistrements correspond à la ligne d'attractivité littorale (qui a été implémentée dans toutes les simulations).

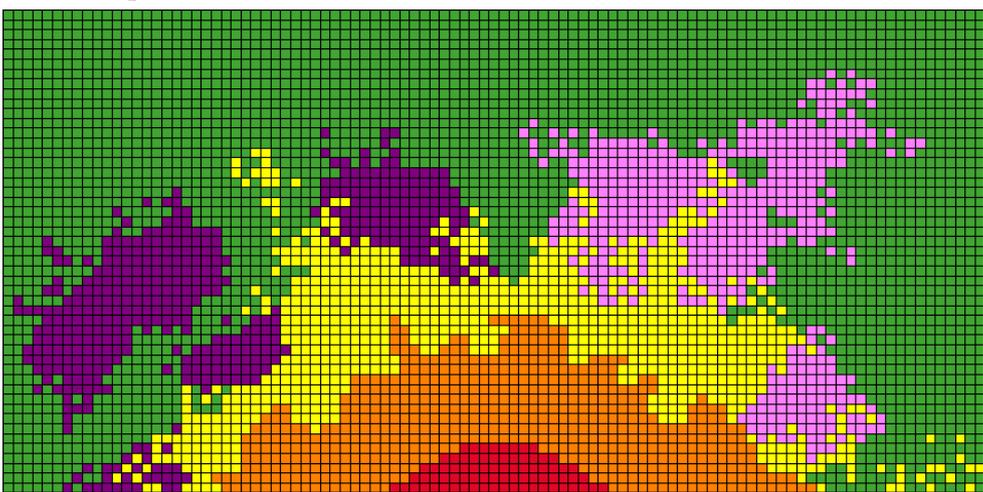
Pas de temps 0 :



Pas de temps 100 (25 ans) :



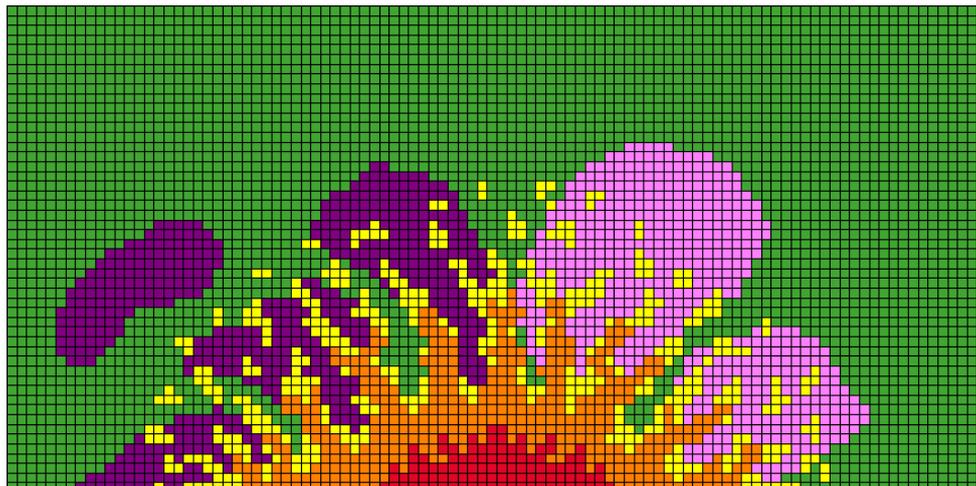
Pas de temps 200 (50 ans) :



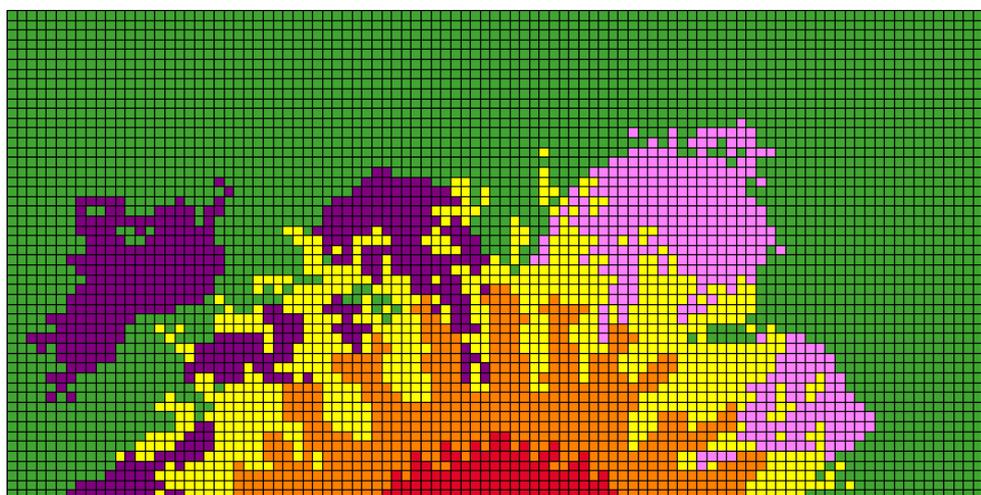
	Bâti collectif	Col		Bâti mixte	Mix
	Bâti individuel	Ind		Espaces naturels	Nat
	Agriculture arrosée	Arr		Agriculture sèche	Sec

Figure V-12. Evolution du modèle compact selon le scénario interventionniste (zoom)

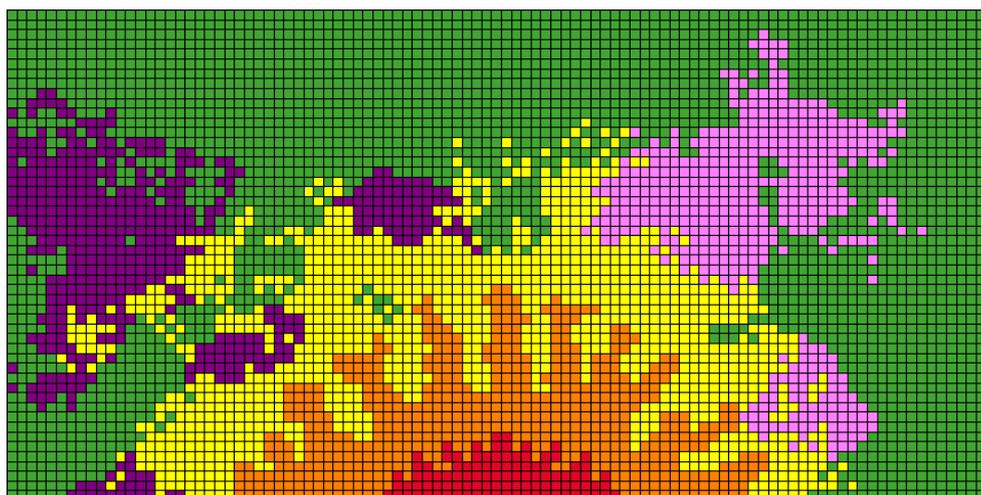
Pas de temps 0 :



Pas de temps 100 (25 ans) :



Pas de temps 200 (50 ans) :



	Bâti collectif	Col		Bâti mixte	Mix
	Bâti individuel	Ind		Espaces naturels	Nat
	Agriculture arrosée	Arr		Agriculture sèche	Sec

Figure V-13. Evolution du modèle éclaté selon le scénario interventionniste (zoom)

Le scénario interventionniste porte ses fruits puisque les espaces agricoles sont conservés dans les deux cas à hauteur de 37 km² en 2060 (pour 40 km² en 2010). La protection des zones littorales et agricoles, et la réimplantation de ces dernières en cas d'urbanisation, a en outre freiné l'extension du bâti individuel dans le cas du modèle éclaté (Figure V-15). La superficie de bâti de type individuel est en effet de 41 km² en 2060 (elle était de 53 km² pour le scénario non-interventionniste). La baisse est moindre dans le cas du modèle compact, puisque la superficie de bâti de type individuel est ici de 30 km² (Figure V-14) contre 33 km² pour le scénario non-interventionniste. L'habitat mixte ne présente pas de différence dans l'évolution de sa superficie par rapport au scénario non-interventionniste.

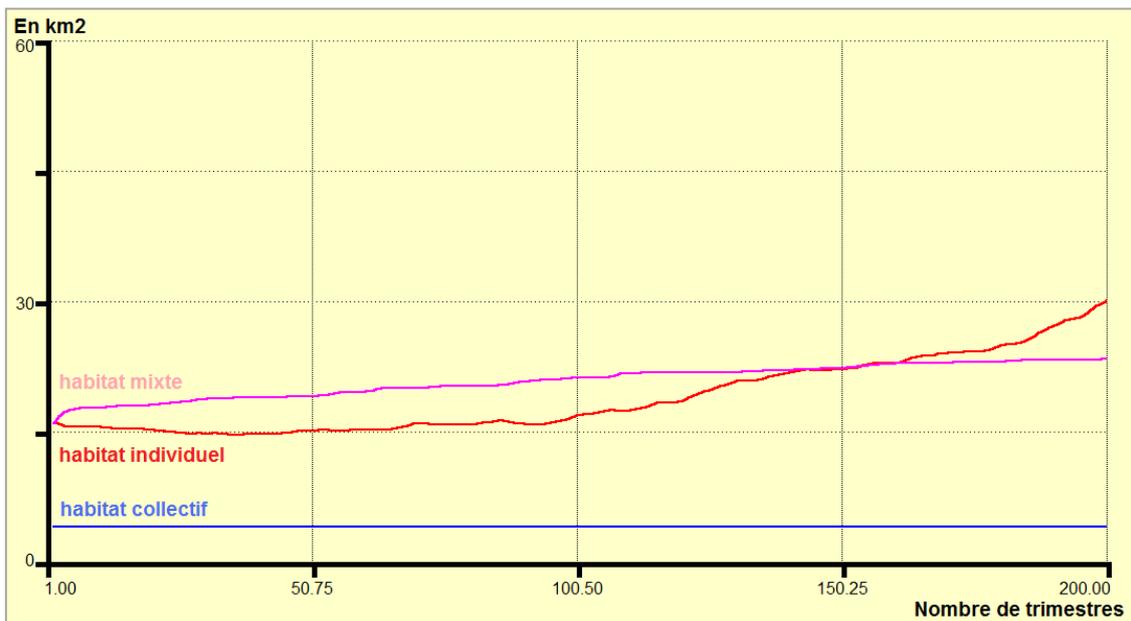


Figure V-14. Evolution des différents types de bâti (modèle compact, scénario interventionniste)

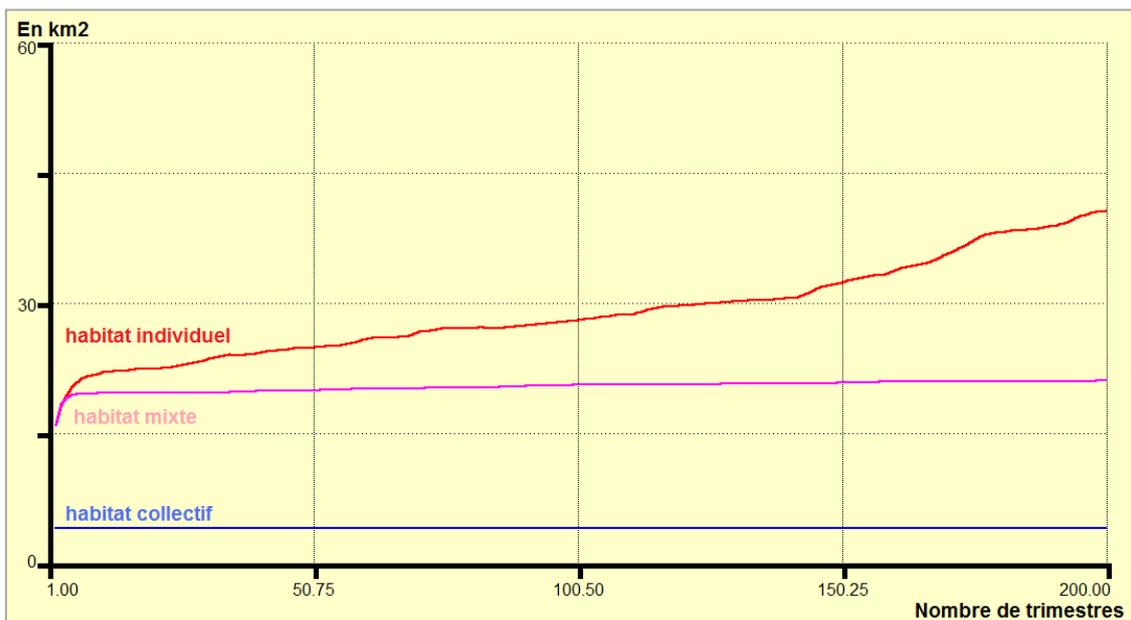


Figure V-15. Evolution des différents types de bâti (modèle éclaté, scénario non-interventionniste)

En 2060, la population est de 464 600 habitants pour le modèle compact et 494 800 pour le modèle éclaté, soit un taux de croissance annuel moyen respectif de 0,75% et de 0,88% pour la période 2010-2060.

Les scénarios n'ont donc pas les mêmes effets sur les deux espaces initiaux, montrant le rôle de la configuration spatiale dans l'évolution des territoires.

1.3. Modélisation de l'évolution de la ressource en eau et des consommations au moyen de la dynamique des systèmes

1.3.1. Définition des composantes du système et de leurs interrelations

Les résultats des simulations réalisées avec l'automate cellulaire sont intégrés dans un modèle en dynamique des systèmes. Celui-ci sert à simuler l'évolution des consommations d'eau des différentes activités dans le temps et à les mettre en relation avec la réserve en eau disponible au même moment, afin d'identifier des situations de tension et de crise en termes de besoins et de disponibilité de la ressource.

La partie supérieure du modèle (en bleu sur la Figure V-16) correspond à la modélisation de la réserve en eau, représentée sous forme d'un stock. Plusieurs variables déterminent les entrées d'eau au sein des nappes phréatiques : les précipitations fixent la quantité d'eau arrivant dans le bassin versant, un coefficient d'évaporation et un coefficient d'infiltration sont déterminés en fonction de la température d'une part et des saisons d'autre part. Les données trimestrielles d'évolution des paramètres climatiques sont issues du modèle ARPEGE-Climat et des simulations réalisées sous l'identifiant ARPEGE-RETIC par le CERFACS à partir des différents scénarios du GIEC et régionalisées à une échelle fine de 8 km dans les expériences dites SCRATCH08⁵⁰. Les projections utilisées concernent la zone de Nice. Le cumul des précipitations est donné en litre par mètre carré, et l'arrivée d'eau est donc dépendante de la surface du bassin versant, que nous avons fixée à 5000 km². Les températures sont des moyennes journalières données pour chaque trimestre. Les sorties de la réserve en eau s'élèvent à un tiers de la réserve en eau à chaque pas de temps, auxquelles s'ajoute la consommation totale, résultant des activités humaines. La valeur de départ de la réserve en eau est fixée à 250 000 000 m³. Si la valeur de la réserve en eau descend entre 30 000 000 et 60 000 000 m³, une situation de tension apparaît. Si cette valeur est inférieure 30 000 000 m³, la situation est dite de crise. Ces seuils ont été choisis au regard des valeurs de consommation totale, généralement comprises entre 15 000 000 et 35 000 000 m³ par trimestre.

⁵⁰ Drias, données Météo-France, CERFACS, IPSL

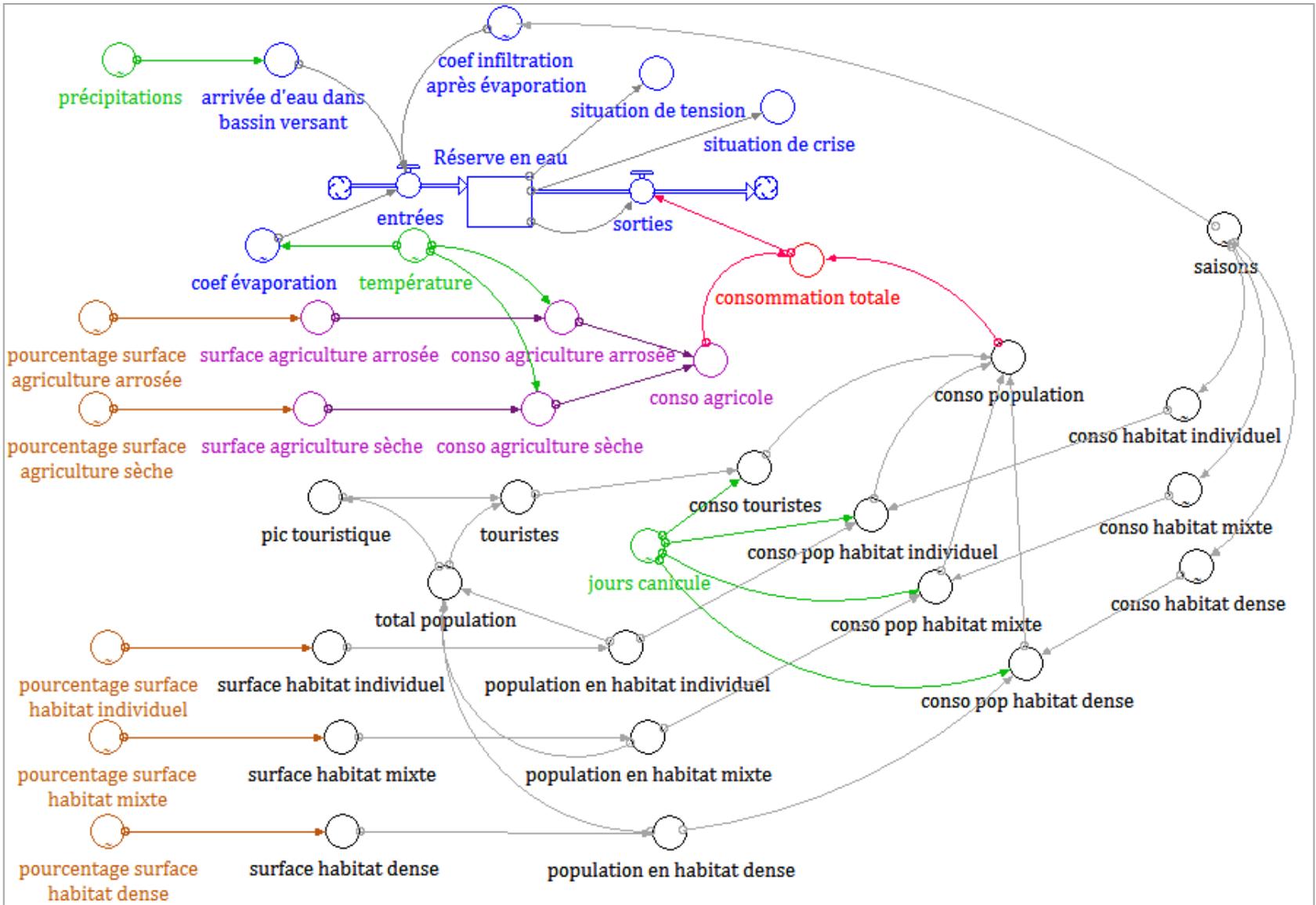


Figure V-16. Diagramme causal

Les évolutions des surfaces de chaque activité, fournies par l'automate cellulaire sous forme de pourcentage, sont entrées dans le modèle en dynamique des systèmes au niveau des variables représentées en marron sur la Figure V-16. La consommation d'eau par l'agriculture sèche (fixée à 150 000 m³ par km² par trimestre) est inférieure à celle de l'agriculture arrosée (300 000 m³ par km² par trimestre). Lorsque la température journalière moyenne dépasse les 23°C sur le trimestre, leurs consommations d'eau sont multipliées par 1,4. Pour les activités résidentielles, le nombre d'habitants présents pour chaque type de bâti est calculé à partir de densités moyennes (de 5000, 10000 et 20000 habitants par km² pour le bâti individuel, mixte et dense). La consommation d'eau des habitants varie en fonction du type d'habitat et des saisons (Tableau 26). Elle est plus importante en saison estivale et plus particulièrement pour l'habitat individuel qui bénéficie de jardins et de piscines. Les variations saisonnières sont moins importantes en habitat collectif.

	Printemps	Eté	Automne	Hiver
Habitat individuel	40,5	54	36	22,5
Habitat mixte	27	36	27	22,5
Habitat collectif	22,5	27	22,5	22,5

Tableau 26. Consommation d'eau par habitant et par trimestre en m³ pour les différents types d'habitat

À cela s'ajoutent les vagues de chaleur, qui provoquent une augmentation de la consommation d'eau de 2 m³ par habitant et par jour. Le nombre de jours de vague de chaleur pour chaque trimestre vient, comme les autres paramètres climatiques, des simulations produites par le CERFACS à partir du modèle ARPEGE-Climat.

Enfin, la consommation d'eau des touristes, dotée de variations saisonnières du fait des variations de la fréquentation, est intégrée dans le modèle. Le nombre de touristes est fixé à 1/6^e de la population totale, auquel s'ajoute un pic touristique l'été, correspondant à un quart de la population totale. Nous avons fixé la consommation d'eau des touristes à 18 m³ par trimestre tout au long de l'année, sauf lors des jours de vague de chaleur où elle augmente de 2 m³. Au final, la consommation des populations (résidents et touristes) et celle des activités agricoles indiquent la consommation totale.

1.3.2. Simulation de l'évolution des consommations et de la ressource en eau selon deux scénarios du GIEC

Nous avons simulé l'évolution des consommations d'eau pour les deux configurations spatiales initiales (compacte et éclatée) et les deux scénarios de développement (non-interventionniste et interventionniste), mais aussi pour deux scénarios d'évolution des paramètres climatiques, soit un total de huit simulations (Tableau 27). Les projections

climatiques utilisées correspondent aux scénarios A2 et B1 du GIEC. Il s'agit de scénarios d'émissions (de gaz à effet de serre, d'aérosols, etc.) basés sur des évolutions socio-économiques distinctes. Le scénario A2 est considéré comme pessimiste, tandis que le scénario B1 est décrit comme optimiste sur le site du DRIAS où sont mises à disposition ces projections climatiques⁵¹. À l'échelle mondiale et à l'horizon 2100, la hausse de température projetée est de 1,1 à 2,9°C pour le scénario B1, contre une hausse de 2,0 à 5,4 °C pour le scénario A2.

	Scénario non-interventionniste	Scénario interventionniste
Modèle compact	Projections climatiques A2 et B1	Projections climatiques A2 et B1
Modèle éclaté	Projections climatiques A2 et B1	Projections climatiques A2 et B1

Tableau 27. Huit simulations issues de la combinaison de 2 fois 2 scénarios et de deux configurations spatiales initiales

Pour comparer ces projections climatiques régionalisées, nous avons simulé l'évolution de la réserve en eau pour les scénarios A2 et B1 sans prendre en compte la consommation d'eau (seule la partie supérieure du modèle est mobilisée). La Figure V-17 montre que le niveau moyen de la réserve en eau est similaire, mais le scénario A2 induit des écarts plus importants au niveau des extrêmes, et des niveaux bas plus fréquents. Ces observations ont été corroborées par le calcul des paramètres de position et de dispersion des deux séries.

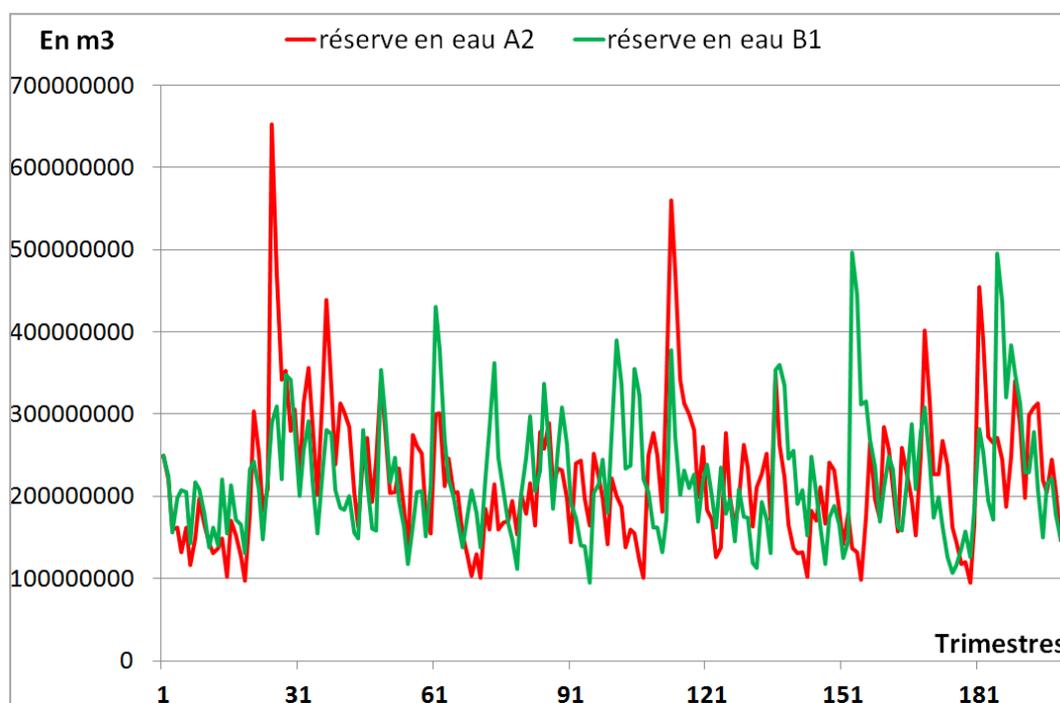


Figure V-17. Evolution de la réserve en eau selon les scénarios A2 et B1 (sans consommation d'eau)

⁵¹ <http://www.drias-climat.fr/>

L'effet des huit scénarios sur la réserve en eau est analysé à travers le nombre de situations de tensions sur la ressource en eau et le nombre de crises. La Figure V-18 donne un exemple de l'évolution de la ressource en eau (scénario A2 interventionniste à partir du modèle compact) et des situations de crise et de tension qui y sont associées. Des situations de tension se succèdent parfois sur deux trimestres consécutifs.

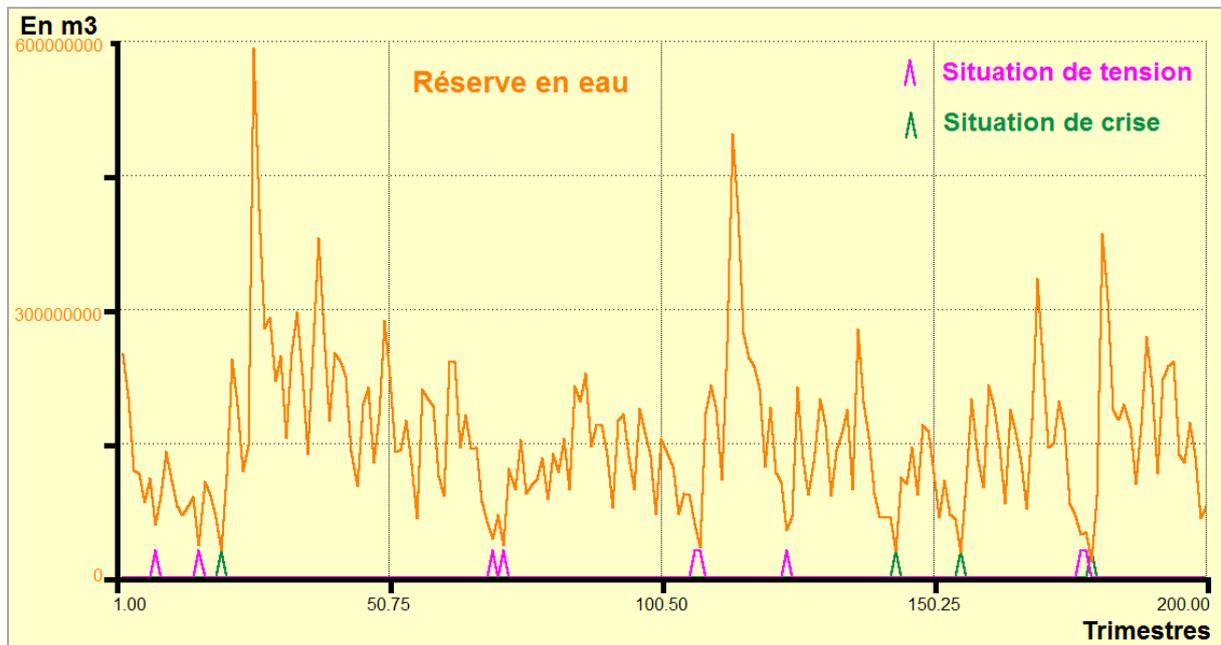


Figure V-18. Situations à risque (scénario A2 interventionniste à partir du modèle compact)

Nous désignons l'ensemble des situations de tension et de crise par l'expression « situations à risque ». Les résultats montrent, comme l'on pouvait s'y attendre, que le modèle compact génère moins de situations à risque que le modèle éclaté, aussi bien pour les scénarios non-interventionnistes que pour les scénarios interventionnistes (Tableau 28 et Tableau 29). Ils montrent aussi que les scénarios de type A2 présentent plus de situations à risque que les scénarios de type B1. Moins attendu était le fait que les scénarios interventionnistes sont à l'origine de plus de situations à risque que les scénarios non-interventionnistes.

	scénario non-interventionniste			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	10	10	9	10
situation de crise	2	4	1	1
total situations à risque	12	14	10	11

Tableau 28. Nombre de situations à risque pour le scénario non-interventionniste

	scénario interventionniste			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	9	10	9	11
situation de crise	4	6	2	2
total situations à risque	13	16	11	13

Tableau 29. Nombre de situations à risque pour le scénario interventionniste

Cette situation s'explique par le maintien et la relocalisation de l'agriculture dans les scénarios interventionnistes. Les activités résidentielles et touristiques présentent certes une plus faible consommation d'eau qu'en scénarios non-interventionnistes, mais la consommation d'eau engendrée par le maintien des activités agricoles engendre une plus grande consommation totale (Figure V-19 et Figure V-20). L'augmentation du nombre de situations à risque est d'ailleurs plus importante pour les scénarios s'exerçant à partir d'un modèle urbain éclaté, puisqu'il favorise une plus grande perte d'espaces agricoles en situation non-interventionniste, que pour les scénarios s'exerçant à partir d'un modèle urbain compact.

Modèle compact (B1) :

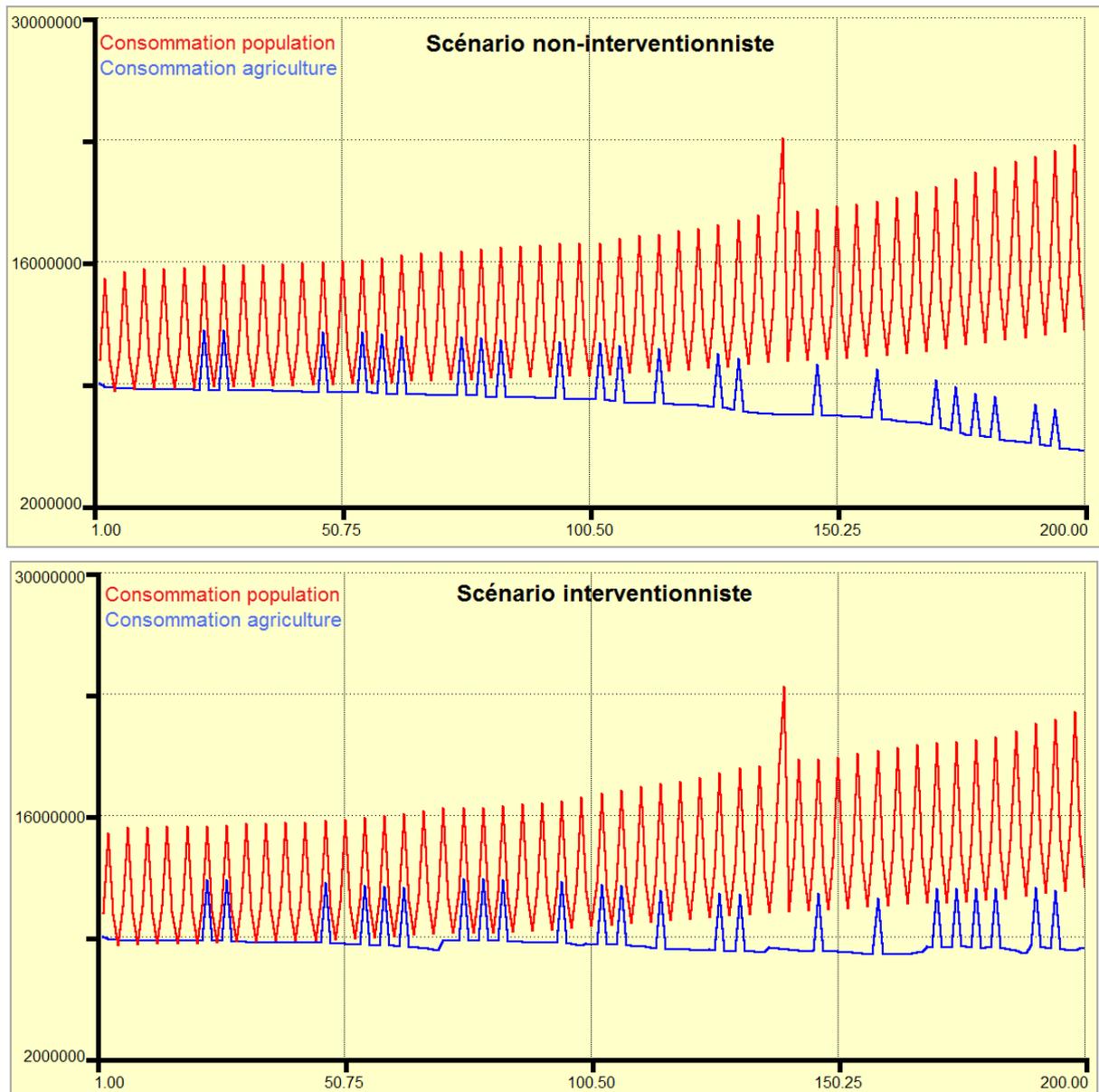


Figure V-19. Evolution des consommations d'eau pour les scénarios non-interventionniste et interventionniste, à partir du modèle urbain compact (projection climatique B1)

Modèle éclaté (A2) :

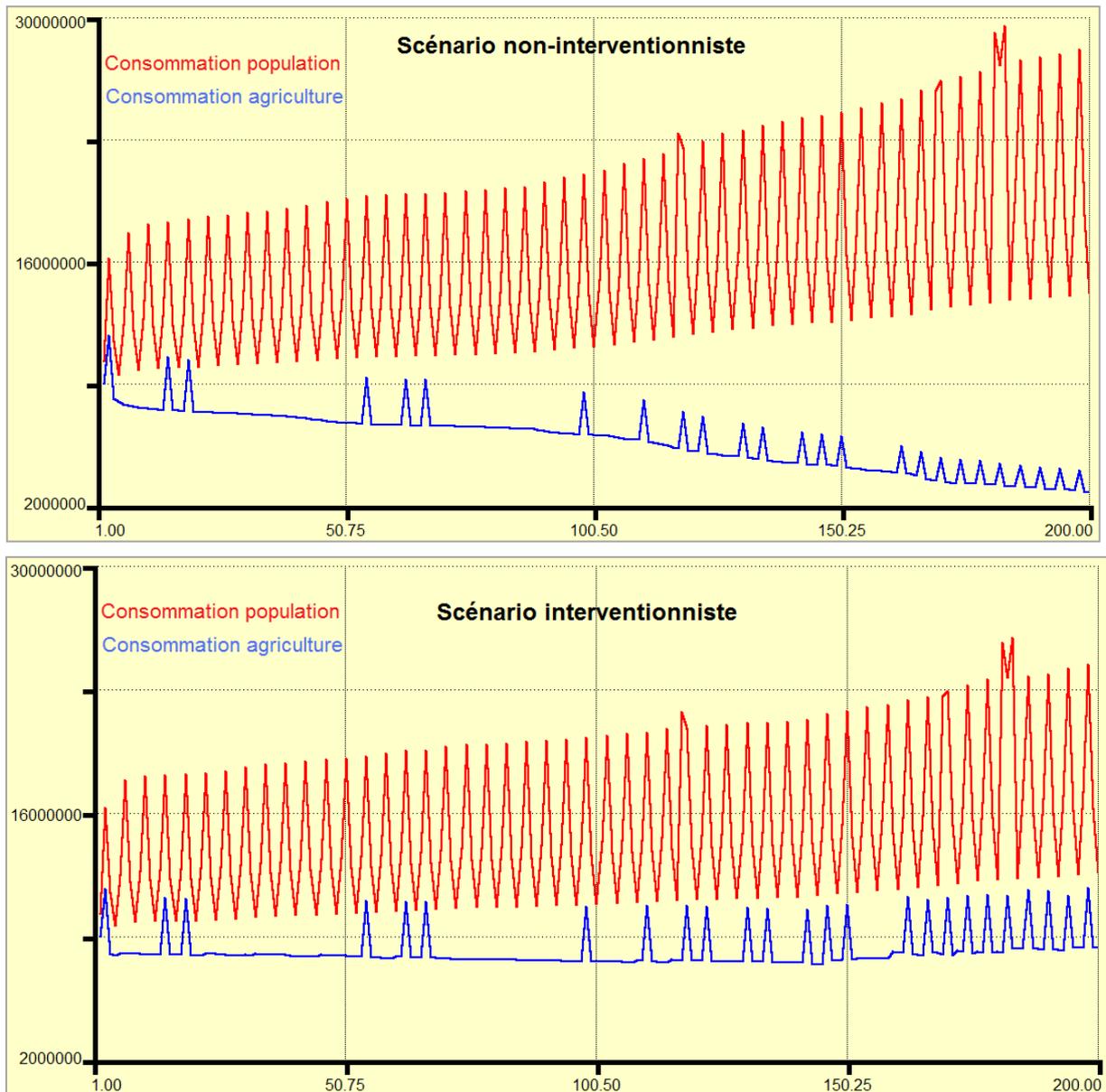


Figure V-20. Evolution des consommations d'eau pour les scénarios non-interventionniste et interventionniste, à partir du modèle urbain éclaté (projection climatique A2)

La mise en place d'une politique de protection des zones agricoles et de bord de mer implique des effets allant à l'encontre d'une réduction des consommations d'eau et, ainsi, à l'encontre de l'adaptation à des changements climatiques qui rendent les situations à risque plus nombreuses (projections A2). La question ici soulevée est celle de la manière de concilier un développement durable des territoires qui veille à ce que l'agriculture ne soit pas sacrifiée au profit de l'étalement urbain, et la nécessaire réduction des consommations d'eau. L'intégration des logiques de l'adaptation dans celles de la durabilité territoriale rendent nécessaire une mise en adéquation des différentes politiques territoriales, prenant en compte leurs interrelations.

Conclusion

La modélisation prospective permet de simuler l'évolution de systèmes territoriaux dans le temps. Celle qui est ici développée a pour finalité de simuler pour la période 2010-2060 l'évolution de l'occupation du sol, des consommations d'eau des activités qui y prennent place, et de la réserve en eau disponible compte tenu de l'évolution des paramètres climatiques. Le modèle met en évidence l'apparition de situation de tension sur la ressource en eau et de situations, plus aiguës, de crise. La combinaison d'un automate cellulaire et d'un modèle en dynamique de système permet de prendre en compte les relations spatiales et de cause à effet qui jouent dans cette évolution. **Les simulations réalisées à partir de deux configurations spatiales différentes (une aire urbaine littorale compacte et une aire urbaine littorale éclatée), pour toutes choses égales par ailleurs, mettent en évidence le rôle de l'espace sur sa propre évolution. Ainsi, il paraît nécessaire que les mesures d'adaptation au changement climatique, qui cherchent à modifier le système territorial et ses évolutions, prennent en considération l'organisation spatiale existante, puisque celle-ci joue sur les dynamiques à venir.** D'autre part, la simulation d'un scénario interventionniste révèle que des interférences, voire des contradictions, peuvent émerger entre différents objectifs liés à la durabilité territoriale (la réduction des consommations d'eau et le maintien des activités agricoles). Il en ressort la nécessité d'intégrer les problématiques territoriales mais aussi la difficulté de les concilier. La simulation est un outil exploratoire puissant à partir duquel l'efficacité de mesures d'adaptation va être testée en relation avec la problématique de maintien de l'agriculture littorale.

2. Une modélisation permettant de tester les effets de différentes mesures d'adaptation sur les deux espaces fictifs

La démarche adoptée consiste à tester l'effet et l'efficacité de différentes mesures d'adaptation visant à réduire les consommations d'eau, à partir du scénario interventionniste qui quant à lui vise à protéger le bord de mer et à préserver l'activité agricole. Ces tests sont effectués sur les deux espaces fictifs (modèle compact et modèle mité) et pour les deux projections des paramètres climatiques (A2 et B1). Différents types de mesures d'adaptation sont analysées : des mesures de restriction des consommations mises en place lorsqu'un niveau d'alerte est atteint, des mesures de transition progressive vers une réduction des consommations moyennes et des mesures favorisant les activités les moins consommatrices en eau. Il s'agit de voir comment les activités peuvent être conciliées avec une réduction des consommations d'eau et une réduction de la fréquence d'apparition des situations à risque. Enfin, il s'agira d'identifier les mesures les plus en adéquation avec les organisations spatiales et leurs évolutions.

2.1. Simulations de différents types de mesure d'adaptation

2.1.1. Mesures de restriction de la consommation d'eau

Les mesures de restriction de la consommation d'eau sont déclenchées lorsque le niveau de la réserve en eau atteint un seuil d'alerte. L'alerte conduit alors à l'instauration d'une restriction de la consommation d'eau qui s'applique de manière différenciée aux différentes activités du territoire. Dans notre modèle, cette restriction s'applique à l'arrosage des terres agricoles et des jardins privés. En cas d'alerte (en rose sur la Figure V-21), la consommation d'eau de l'agriculture arrosée est divisée par 3, celle de l'agriculture sèche est divisée par 2. La consommation d'eau du bâti individuel est divisée par 1,8 et celle du bâti mixte par 1,2. Trois valeurs de seuil d'alerte ont été testées : dans le premier cas l'alerte est déclenchée lorsque le niveau de la réserve en eau devient inférieur à 100 000 000 m³, dans le deuxième cas lorsqu'il passe au-dessous des 75 000 000 m³, et dans le troisième cas pour un seuil inférieur à 50 000 000 m³. La restriction s'arrête lorsque le niveau de la réserve est de nouveau supérieur au seuil d'alerte. Nous postulons que les mesures de restriction soient suivies par les populations et les agriculteurs, mais les augmentations de consommation liées à la température pour l'agriculture et aux canicules pour les populations sont maintenues.

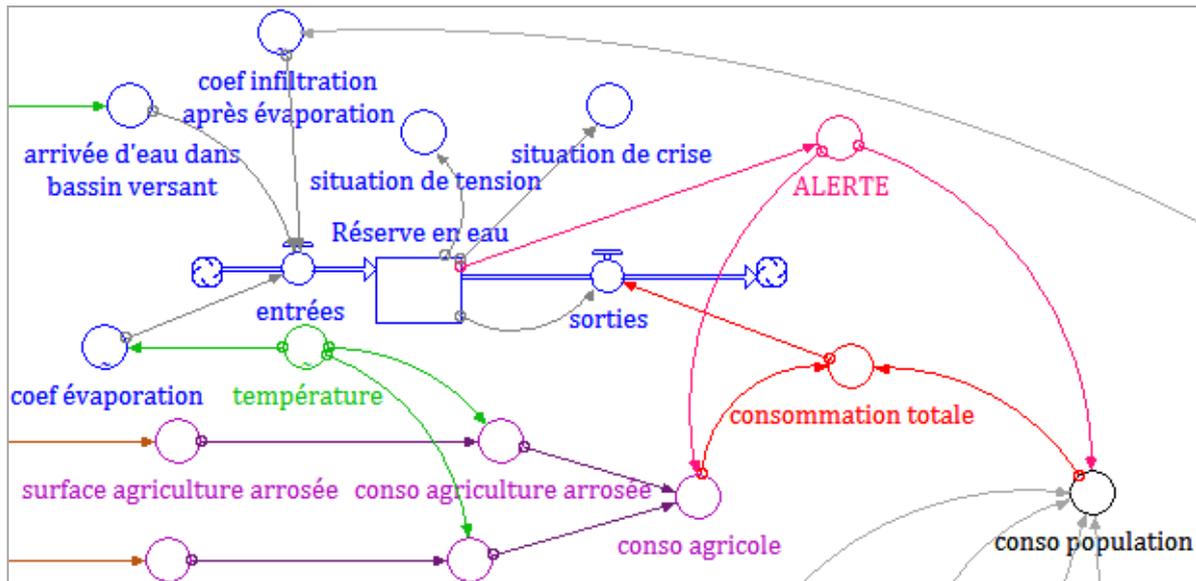


Figure V-21. Extrait du diagramme causal avec système d'alerte instaurant des restrictions de la consommation des activités agricoles et de la population

Les résultats pour le premier seuil d'alerte (Tableau 30) montrent une réduction importante des situations à risque avec notamment la disparition des situations de crise, qui pouvaient représenter jusqu'à la moitié des situations à risque en l'absence de mesures de restriction de la consommation d'eau (Tableau 29). Néanmoins, le nombre d'alertes, et donc de périodes de restriction de la consommation, est extrêmement important (une cinquantaine de trimestres, soit un cumul d'une douzaine d'années). La fréquence des restrictions de la consommation d'eau pourrait porter préjudice à l'activité agricole. Le recours trop fréquent à cette mesure par rapport au nombre de cas qui auraient réellement abouti à des situations à risque peut en outre décourager les agriculteurs et les résidents à appliquer cette restriction.

	scénario interventionniste avec Alerte 1			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	10	13	9	10
situation de crise	0	0	0	0
total situations à risque	10	13	9	10
nombre d'alertes	47	53	43	47

Tableau 30. Résultats des mesures de restriction pour un seuil d'alerte de 100 000 000 m³

Cela nous a amené à tester le deuxième seuil d'alerte, fixé à 75 000 000 m³. Celui-ci est donc plus bas, mais toujours supérieur à la valeur seuil de la situation de tension (60 000 000 m³). La mesure reste très efficace sur les situations de crise, réduites en situation de tension, et le nombre d'alertes est divisé par deux (Tableau 31).

	scénario interventionniste avec Alerte 2			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	11	16	10	12
situation de crise	0	0	1	0
total situations à risque	11	16	11	12
nombre d'alertes	25	29	19	21

Tableau 31. Résultats des mesures de restriction pour un seuil d'alerte de 75 000 000 m³

Les mesures de restriction semblent donc particulièrement pertinentes pour agir sur les situations extrêmes. Un troisième seuil d'alerte, fixé à 50 000 000 m³, a été testé. Le nombre d'alertes déclenchées est encore divisé par deux ou même par trois selon le modèle d'aire urbaine et les projections climatiques, mais l'efficacité de la mesure chute également (Tableau 32). Le nombre de situations de crise et de situations de tension sont quasiment identiques aux valeurs observées en l'absence de mesure de restriction. Ainsi, le déclenchement de la mesure de restriction pour un seuil de 50 000 000 m³ intervient trop tardivement pour limiter le nombre de situations de crise.

	scénario interventionniste avec Alerte 3			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	10	11	9	10
situation de crise	3	5	2	2
total situations à risque	13	16	11	12
nombre d'alertes	9	10	8	9

Tableau 32. Résultats des mesures de restriction pour un seuil d'alerte de 50 000 000 m³

Dans notre modèle, le niveau de la réserve en eau varie très rapidement d'un trimestre à l'autre, ce qui explique la nécessité d'un seuil d'alerte assez élevé pour limiter les situations de crise. La mesure de restriction est efficace lorsque la baisse est progressive ou lorsque des épisodes de sécheresse se succèdent sur plusieurs trimestres. En outre, les effets des mesures de restriction sont limités dans le temps et rendent nécessaires la recherche d'autres formes d'action pour limiter durablement la consommation d'eau.

2.1.2. Mesures instaurant une utilisation économe de l'eau

La deuxième voie d'adaptation envisagée consiste à anticiper les situations à risque et à les limiter en instaurant un usage économe de l'eau, au sein des différentes activités du territoire. De nombreuses actions peuvent contribuer à réduire les consommations d'eau : sensibilisation de la population à la réduction du gaspillage, utilisation de réducteur de débit

d'eau pour les mitigeurs, incitation à la récupération des eaux de pluie pour l'arrosage des jardins, utilisation de technologies modernes d'arrosage pour l'agriculture, etc. Nous avons modélisé ces changements de pratiques et d'usages par des réductions progressives des consommations d'eau moyennes des différentes activités. Nous avons testé l'effet d'une réduction progressive des consommations moyennes sur 20 ans pour les différents types d'habitats et sur 10 ans des consommations agricoles moyennes, postulant que les changements de comportements individuels seraient plus longs à intégrer.

Au niveau du modèle, cinq nouvelles variables sont introduites (en rose sur la Figure V-22). Chacune d'entre elles représente l'évolution d'un coefficient de réduction de la consommation en eau venant s'appliquer sur les consommations des trois types de bâti et des deux types d'agriculture. Lors de la période de transition, ce coefficient passe progressivement de 1 à 0,66 pour l'habitat individuel, à 0,70 pour l'habitat mixte et à 0,75 pour l'habitant collectif. Il passe de 1 à 0,66 pour l'agriculture arrosée et à 0,75 pour l'agriculture sèche. Les coefficients de réduction de la consommation en eau conservent ensuite leur valeur réduite pour le reste de la période analysée.

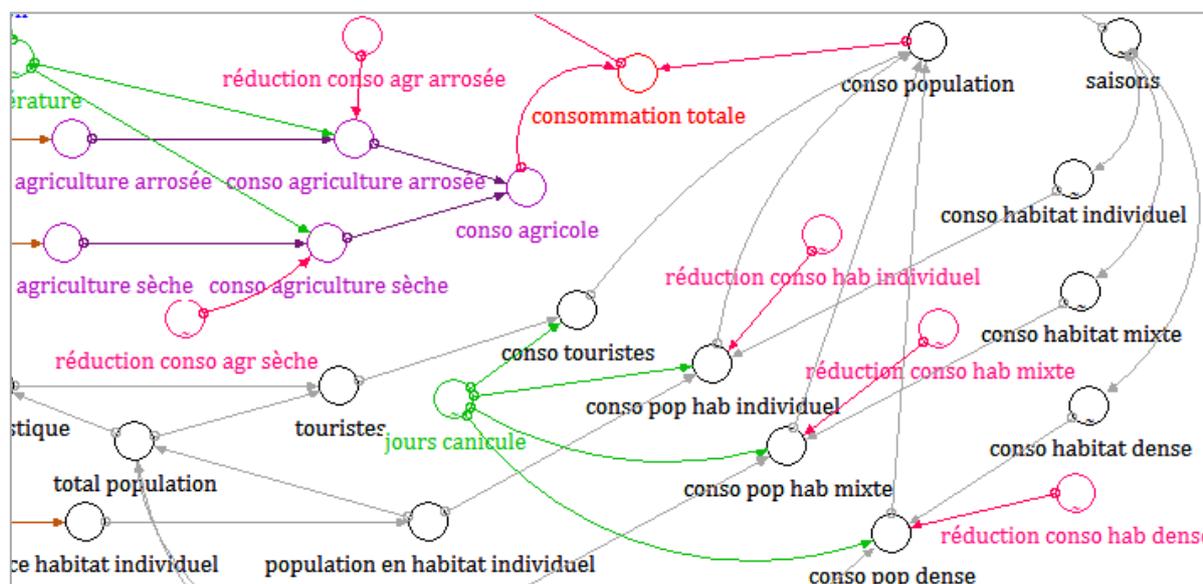


Figure V-22. Extrait du diagramme causal avec variables de réduction de la consommation d'eau

Nous avons testé différentes périodes de transition pour voir l'effet d'une mise en place plus ou moins précoce de ces mesures. Dans une première simulation, ces transitions interviennent entre 2020 et 2040 pour la population résidente et entre 2025 et 2035 pour l'agriculture. Les résultats (Tableau 33) montrent que ces mesures de réduction de la consommation d'eau sont plus efficaces pour réduire les situations à risque que les mesures de restriction qui ont été testées dans la section précédente.

	scénario interventionniste avec transition précoce			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	8	8	4	5
situation de crise	1	1	0	0
total situations à risque	9	9	4	5

Tableau 33. Résultats des mesures de réduction de la consommation d'eau pour la transition plus précoce

L'instauration progressive d'une utilisation économe de l'eau ne réduit pas l'apparition des situations à risque d'un premier quart de la période d'étude (trimestres 1 à 50), contrairement à la mesure de restriction de la consommation (Figure V-23). Elle permet cependant d'éviter et de réduire plus efficacement celles de la deuxième moitié de la période d'étude.

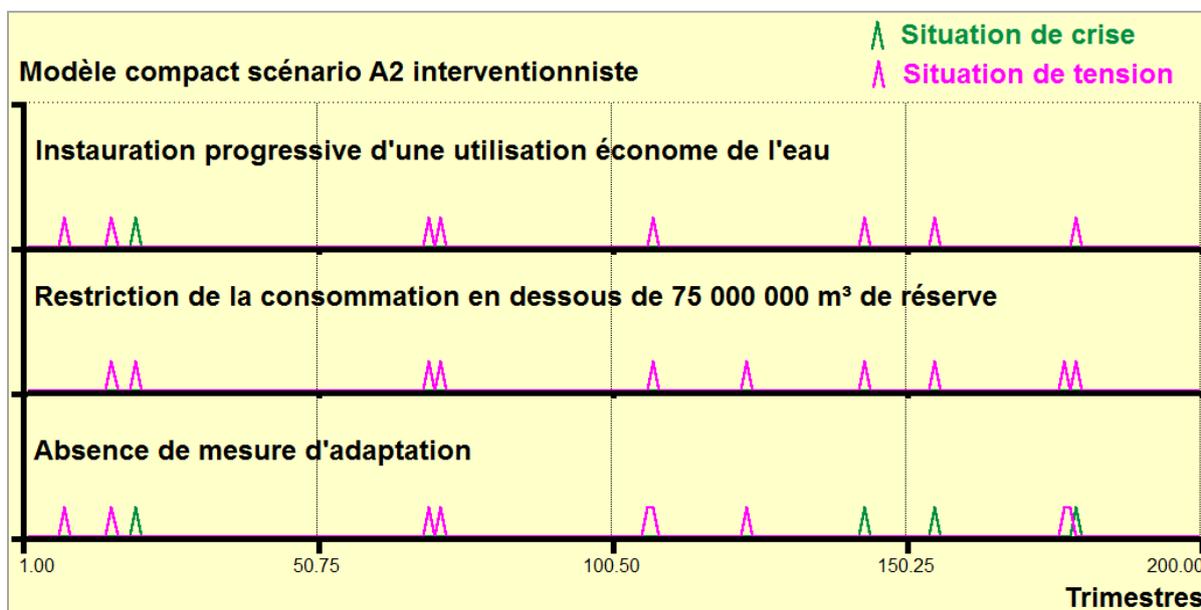


Figure V-23. Comparaison de l'apparition des situations à risque en fonction des mesures d'adaptation (scénario A2 modèle compact)

Par ailleurs, en comparant les résultats du Tableau 33 avec les valeurs obtenues en absence de mesure d'adaptation (Tableau 29), on constate une plus grande efficacité de l'instauration progressive d'une utilisation économe de l'eau pour les simulations intégrant les paramètres climatiques du scénario B1 que pour celles liées au scénario A2. Cela s'explique par l'absence de situation à risque en début de période d'analyse et par leur nombre très important en deuxième moitié de la période (Figure V-24).

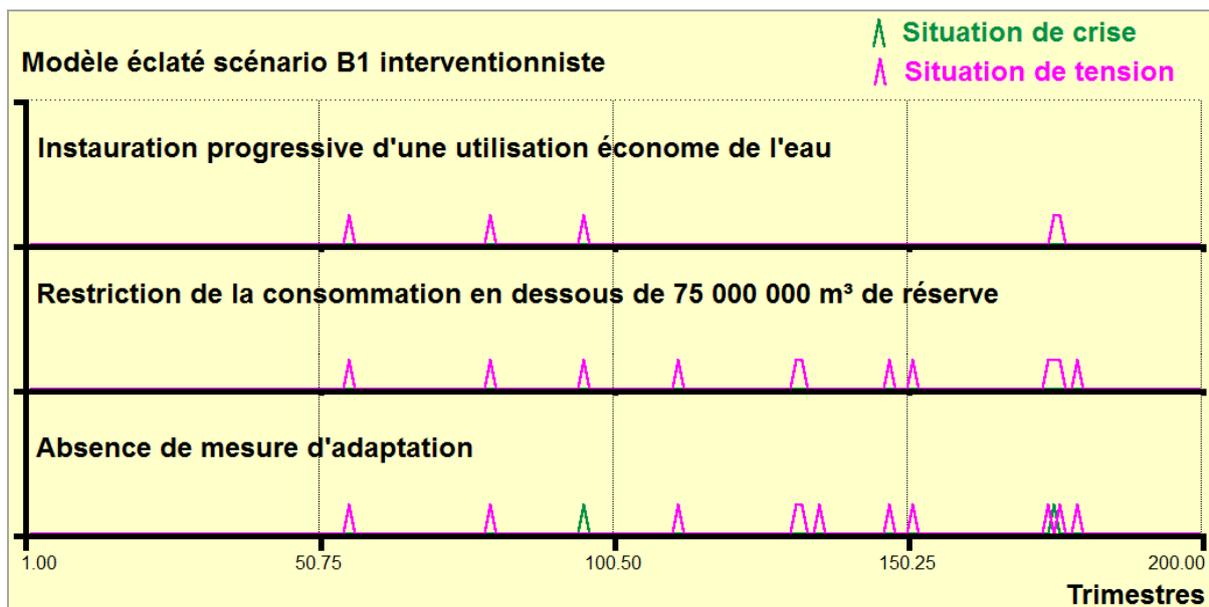


Figure V-24. Comparaison de l'apparition des situations à risque en fonction des mesures d'adaptation (scénario B1 modèle mité)

Enfin, en scénario A2, l'instauration progressive d'une utilisation économe de l'eau se révèle plus efficace pour le modèle éclaté que pour le modèle compact (Tableau 33). Les réductions des consommations d'eau ont en effet un impact plus fort sur l'aire urbaine mitée, propice au bâti de type habitat individuel qui présente des marges d'économie importantes. Ainsi, la consommation d'eau par les personnes résidant en habitat individuel chute fortement avec l'instauration d'une utilisation économe de l'eau (Figure V-25), alors que les différentiels sont moins importants pour le modèle compact (Figure V-26).

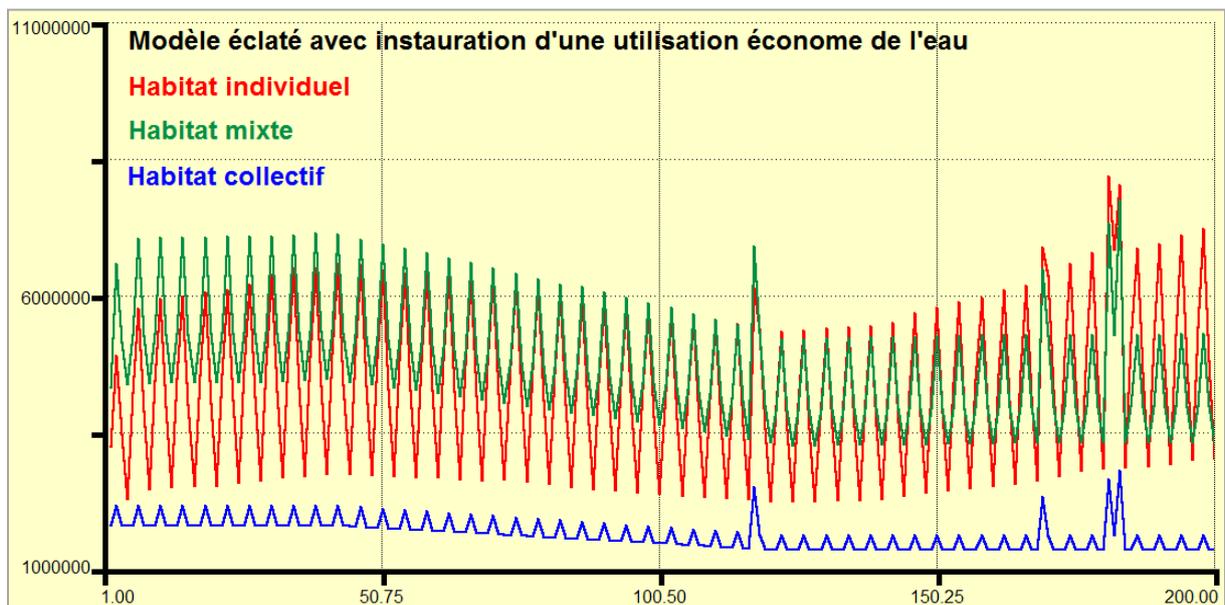
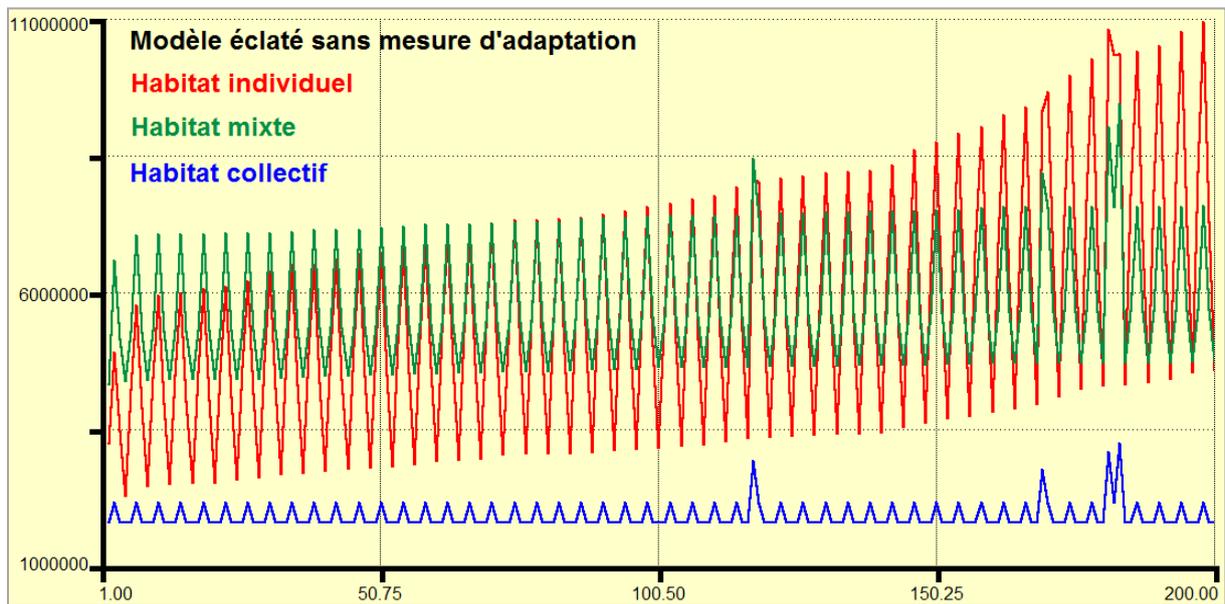


Figure V-25. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau des types d'habitat (modèle éclaté, A2, interventionniste) avec et sans instauration précoce d'une utilisation économe de l'eau

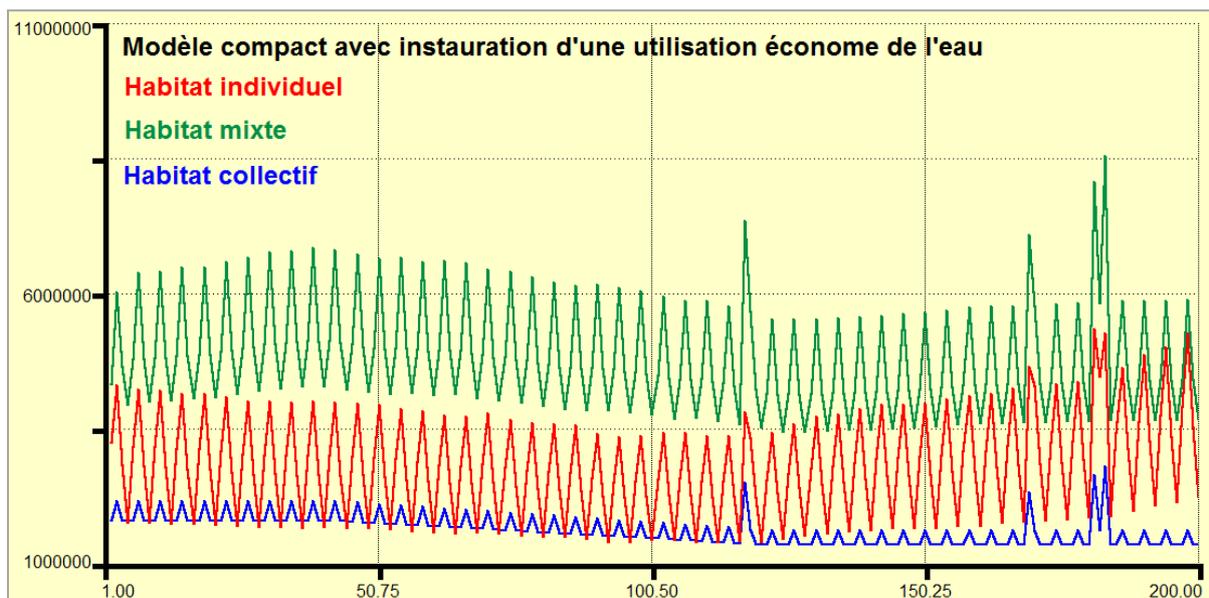
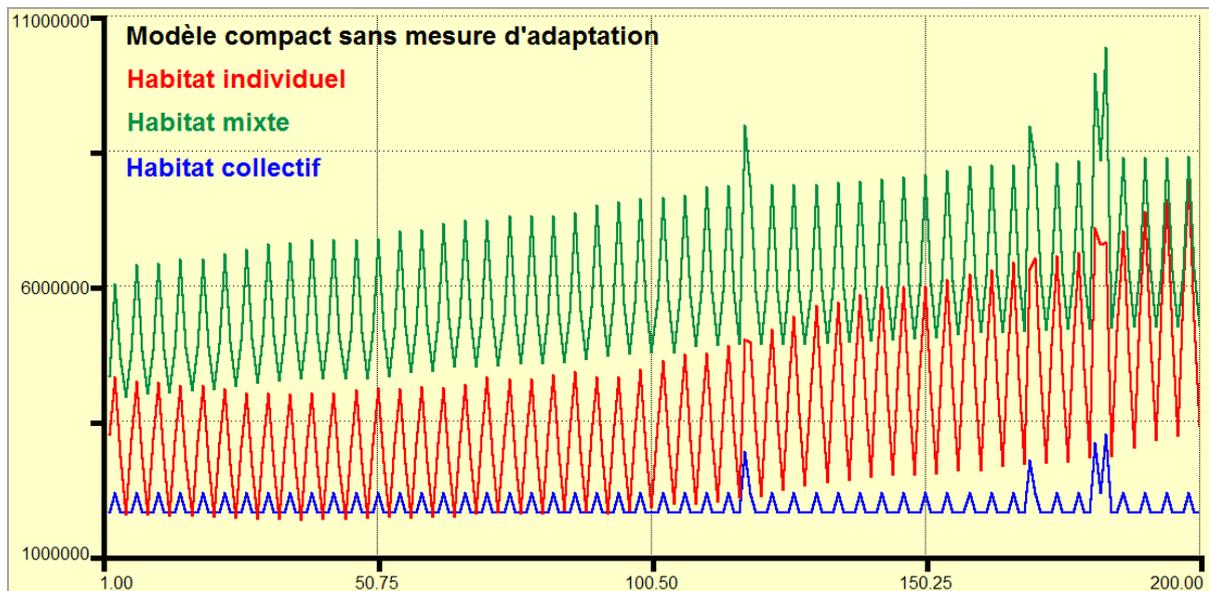


Figure V-26. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau des types d'habitat (modèle compact, A2, interventionniste) avec et sans instauration précoce d'une utilisation économe de l'eau

Dans une seconde simulation, les périodes de transition concernant la réduction des consommations d'eau interviennent dix ans plus tard, c'est-à-dire entre 2030 et 2050 pour la population résidente et entre 2035 et 2045 pour l'agriculture. Comme pour la transition précoce, la transition tardive est plus efficace (Tableau 34) que les mesures de restriction présentées dans la section précédente et plus efficace aussi dans le cadre du scénario B1. Alors que l'instauration précoce d'une utilisation économe de l'eau était particulièrement efficace sur le modèle éclaté, son effet est très fortement réduit lorsqu'elle intervient plus tardivement. Alors que 16 situations à risque sont observées dans le scénario interventionniste sans mesure d'adaptation, ce chiffre était réduit à 9 avec la transition précoce, et remonte à 13 pour la transition tardive (projections climatiques A2). En ce qui concerne le modèle compact, l'instauration tardive d'une utilisation économe de l'eau conserve par ailleurs la même efficacité, avec toujours 9 situations à risque dénombrées (projections climatiques A2).

	scénario interventionniste avec transition tardive			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	8	11	5	7
situation de crise	1	2	1	1
total situations à risque	9	13	6	8

Tableau 34. Résultats des mesures de réduction de la consommation d'eau pour la transition plus tardive

Cette chute de l'efficacité de la mesure pour le modèle éclaté peut être expliquée en observant l'évolution des consommations. Les courbes d'évolution des consommations d'eau (Figure V-27) montrent que celles-ci ont continué de croître plus longtemps avec la transition tardive qu'avec l'adoption précoce de la mesure, et ont ainsi atteint des valeurs plus importantes, en liaison avec le développement urbain. En ce qui concerne le modèle éclaté, le fort développement du bâti individuel et la forte croissance consécutive de sa consommation d'eau expliquent la perte d'efficacité de la mise en place d'une utilisation économe de l'eau, qui arrive trop tardivement. Dans le cas du modèle compact, c'est l'habitat mixte qui présente une dynamique de croissance : ses consommations moindres font que l'instauration tardive de l'utilisation économe de l'eau reste efficace.

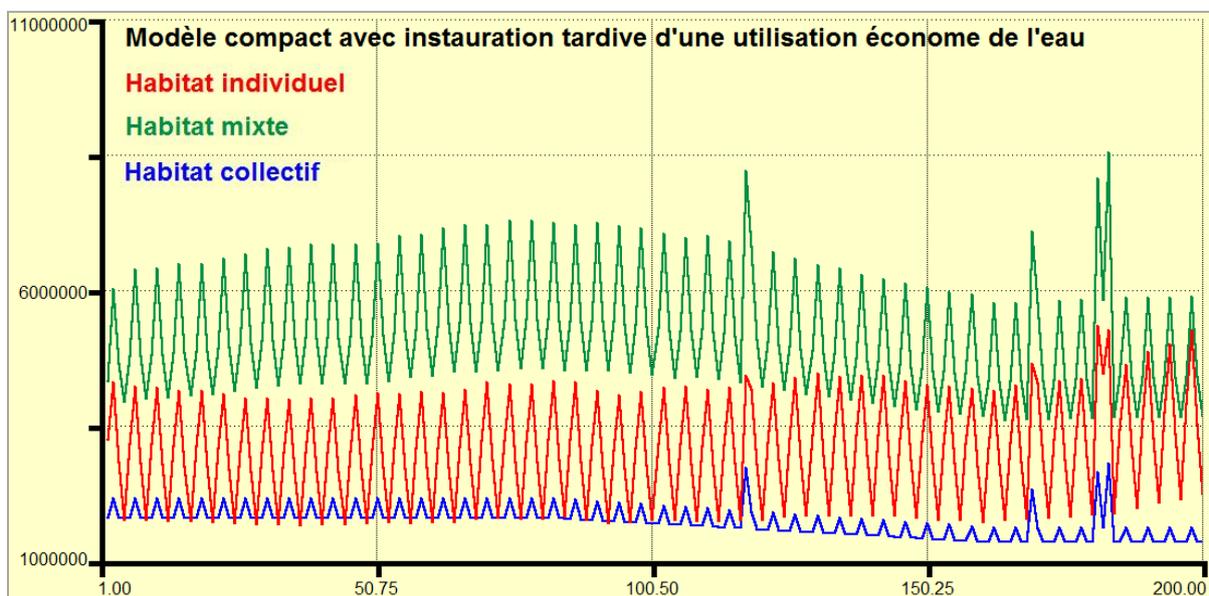
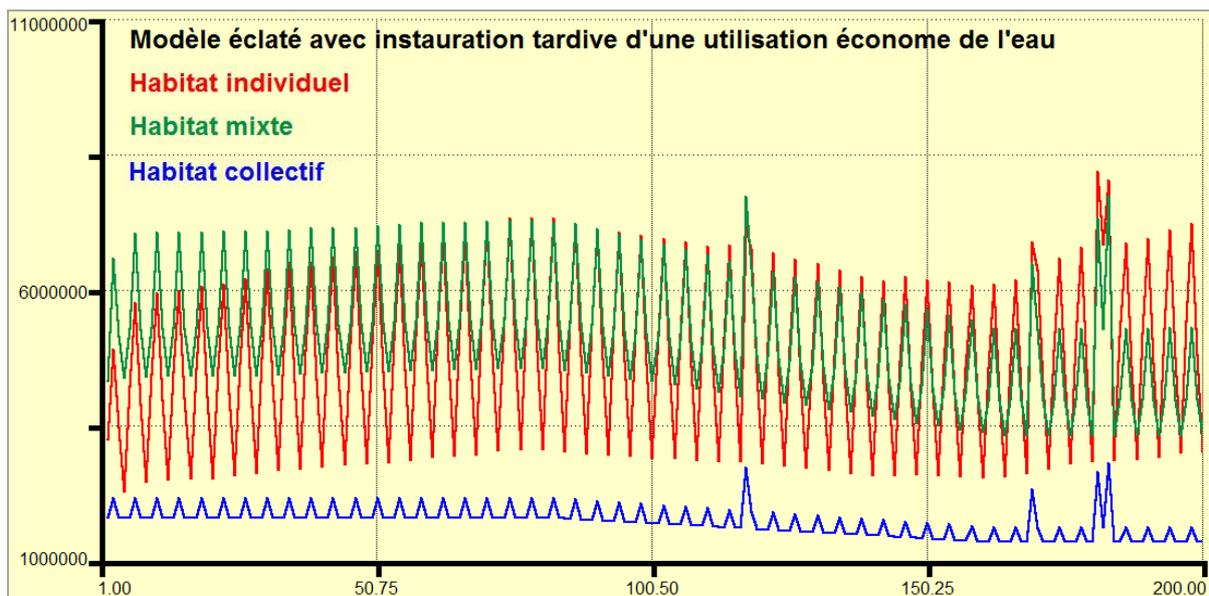


Figure V-27. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau des types d'habitat avec instauration tardive d'une utilisation économe de l'eau pour le modèle compact et le modèle éclaté (scénario A2, interventionniste)

Ces simulations montrent qu'en fonction des configurations spatiales et de leurs dynamiques, les mesures d'adaptation sont plus ou moins pertinentes. La réduction des consommations moyennes d'eau est particulièrement efficace sur le modèle mité favorisant un bâti individuel important. Il est cependant nécessaire, plus que pour le modèle compact, de mettre en place cette transition de façon précoce afin qu'elle porte ses fruits. D'autre part, que la transition soit précoce ou tardive, les courbes d'évolution des consommations d'eau montrent toujours en fin de période une croissance de la consommation liée au développement de l'habitat individuel. Il semblerait ainsi nécessaire de développer des mesures d'adaptation

plus structurelles, agissant directement sur les activités et les types de bâti existants, et sur leurs dynamiques.

2.1.3. Mesures agissant indirectement sur la consommation d'eau

Le troisième type de mesure testé correspond à des mesures anticipatrices qui visent à réduire les consommations d'eau de manière indirecte, c'est-à-dire en favorisant les modes d'habitats et types d'agriculture qui consomment le moins d'eau. Nous avons ainsi favorisé l'agriculture sèche face à l'agriculture arrosée et l'habitat mixte face à l'habitat individuel. Ces deux principes se déclinent en quatre actions d'aménagement du territoire dans un nouveau scénario interventionniste :

- seules des zones d'agriculture sèche sont protégées ;
- les activités agricoles relocalisées mettent en place une agriculture sèche, quelque soit le type d'agriculture de départ ;
- la densification du bâti est recherchée en favorisant son extension en contiguïté avec les zones urbaines existantes ;
- et enfin la densification des zones d'habitat individuel en habitat mixte est encouragée.

Ces actions sont modélisées dans l'automate cellulaire, sous forme de modification ou d'ajout dans les règles de transition, les durées de vie, et dans la localisation des zones protégées. En effet, les zones agricoles protégées ont été modifiées : les zones d'agriculture arrosée ne sont plus protégées et les zones protégées d'agriculture sèche ont été agrandies (Figure V-28).

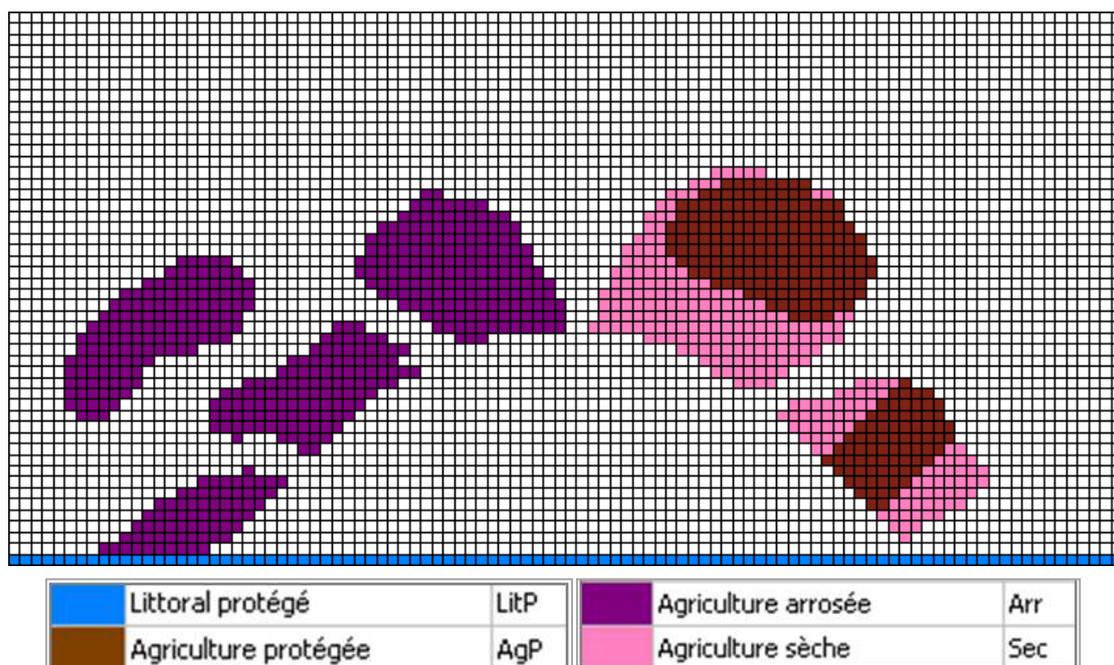


Figure V-28. Nouveaux espaces agricoles protégés (zoom)

- Les modifications dans le paramétrage du modèle sont surlignées dans le Tableau 35 :
- la durée de vie du bâti individuel est baissée à 900, pour modéliser les transitions plus fréquentes vers le bâti mixte ;
 - pour les transitions vers l'habitat individuel, les distances de voisinage avec l'habitat individuel et mixte ont été abaissées ;
 - les zones agricoles relocalisées à proximité des zones d'agriculture arrosée ne font plus de l'agriculture arrosée mais de l'agriculture sèche ;
 - des espaces agricoles apparaissent lorsque le total des surfaces agricoles de la zone d'étude devient inférieur à 9% (deux fois 4,5%).

Durées de vie	Règles de transition
Arr>Arr=DA(700,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;1)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Sec>Sec=DA(700,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Ind>Ind=DA(900,200)	
Nat>Nat=DA(1300,200)	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;1)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Col>Col=DI	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Att>Att=DI	
AgP>AgP=DI	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;1)*AV(Nat;3)*ZV(LitP;0)
LitP>LitP=DI	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(LitP;0)
	Ind>Mix=PV(Mix;1)
	Ind>Mix=PV(Mix;2)*AC(Att;1)
	Nat>Sec=PV(Arr;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Arr;0,045)
	Nat>Sec=PV(Sec;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Sec;0,045)
	Nat>Sec=PV(Sec+Arr;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Sec+Arr;0,09)

Tableau 35. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie du nouveau scénario interventionniste tournée vers les activités moins consommatrices d'eau

Dans le cas du modèle compact, les résultats des simulations montrent une forte progression du bâti mixte sur les zones de bâti individuel, qui ne se sont que peu étendues (Figure V-29). Ce faible étalement a rendu très limitée la réimplantation d'activités agricoles, qui n'a donc pas conduit à une reconversion de l'agriculture arrosée vers l'agriculture sèche. Dans le cas du modèle éclaté, le bâti individuel s'est étendu – mais moins que pour le premier scénario interventionniste – et le bâti mixte ne s'est pas davantage développé que pour le premier scénario interventionniste (Figure V-30). Les zones d'agriculture arrosée ont connu une urbanisation de plus grande ampleur qui a mené au développement de l'agriculture sèche.

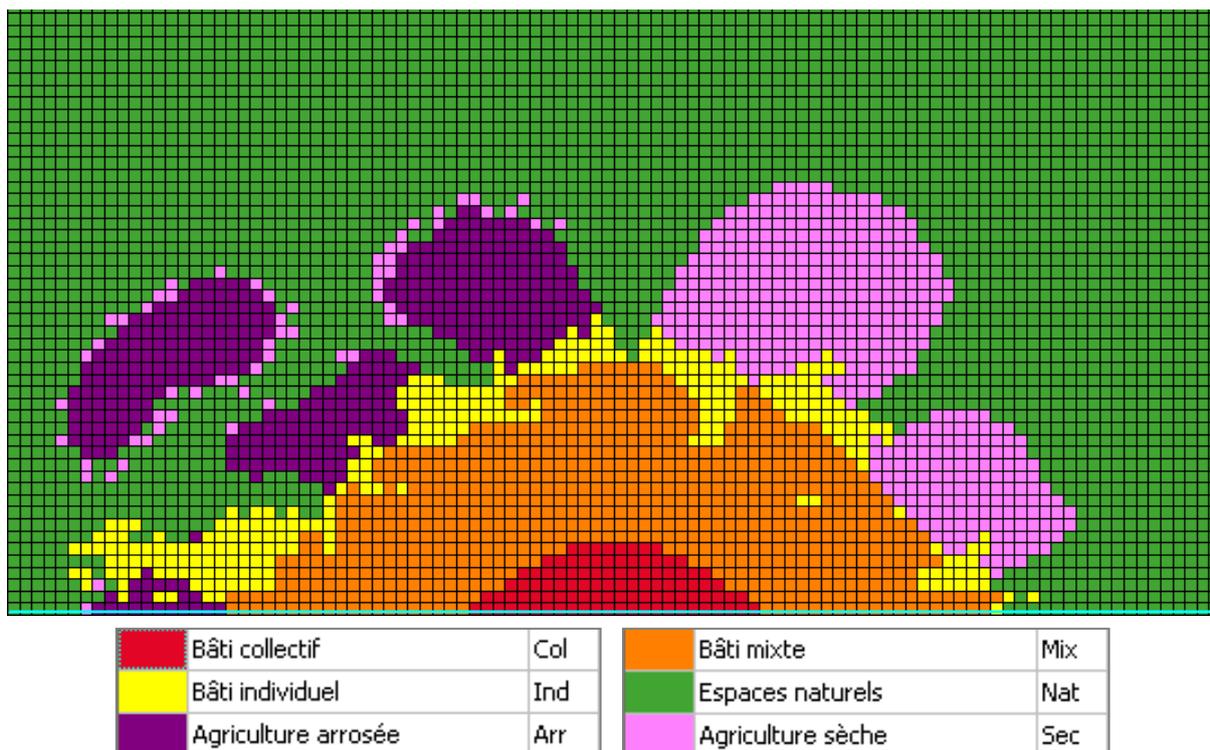


Figure V-29. Evolution du modèle compact au pas de temps 200 selon le nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d'eau (zoom)

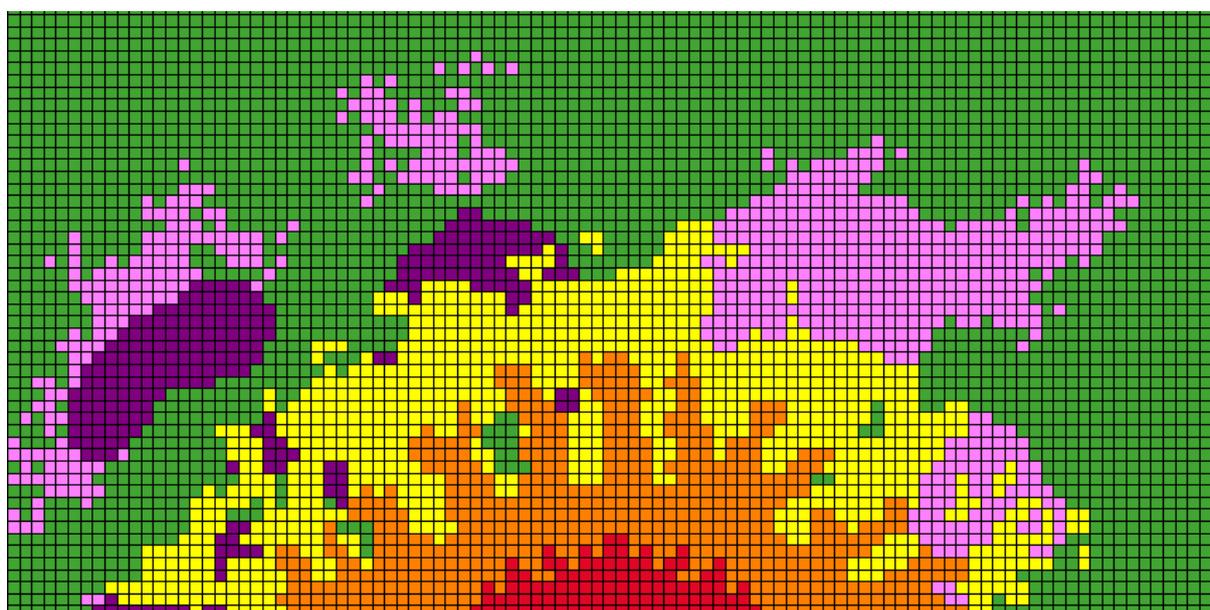


Figure V-30. Evolution du modèle éclaté au pas de temps 200 selon le nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d'eau (zoom)

Les restrictions imposées en matière d'urbanisation ont conduit à un développement moins important des aires urbaines et de leur population (Tableau 36). Le taux de croissance annuel moyen de la population pour la période 2010-2060 n'est plus que de 0,55% pour le modèle compact et 0,76% pour le modèle éclaté.

Population à t+0 = 320000 habitants	Population à t+200	
	modèle compact	modèle éclaté
scénario non-interventionniste	474600	557400
scénario interventionniste	464600	494800
nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d'eau	420600	467400

Tableau 36. Nombre d'habitants à t+200 (année 2060) pour les différents scénarios d'aménagement

Malgré une population moins conséquente, les résultats de cette nouvelle politique interventionniste sur le nombre de situations à risque sont limités (Tableau 37). Pour rappel, le premier scénario interventionniste (Tableau 29) conduisait à des situations à risque au nombre de 13 (modèle compact A2), 16 (modèle éclaté A2), 11 (modèle compact B1) et 13 (modèle éclaté B1).

	Nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d'eau			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	10	10	9	10
situation de crise	2	4	1	2
total situations à risque	12	14	10	12

Tableau 37. Nombre de situations à risque pour le nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d'eau

Cette politique est en outre moins efficace que les autres mesures testées pour réduire les situations à risque. La comparaison de l'évolution des consommations d'eau du premier scénario interventionniste et du nouveau scénario interventionniste montre que les effets de ce dernier n'apparaissent qu'à long terme, pour le modèle compact (Figure V-31) comme pour le modèle mité (Figure V-32). En effet, les réductions de la consommation d'eau de la population n'apparaissent que dans la deuxième moitié de la période d'étude pour le modèle compact et que dans le dernier quart de la période d'étude pour le modèle éclaté. Les débuts des courbes d'évolution des consommations ont un profil similaire aux courbes du scénario interventionniste initial.

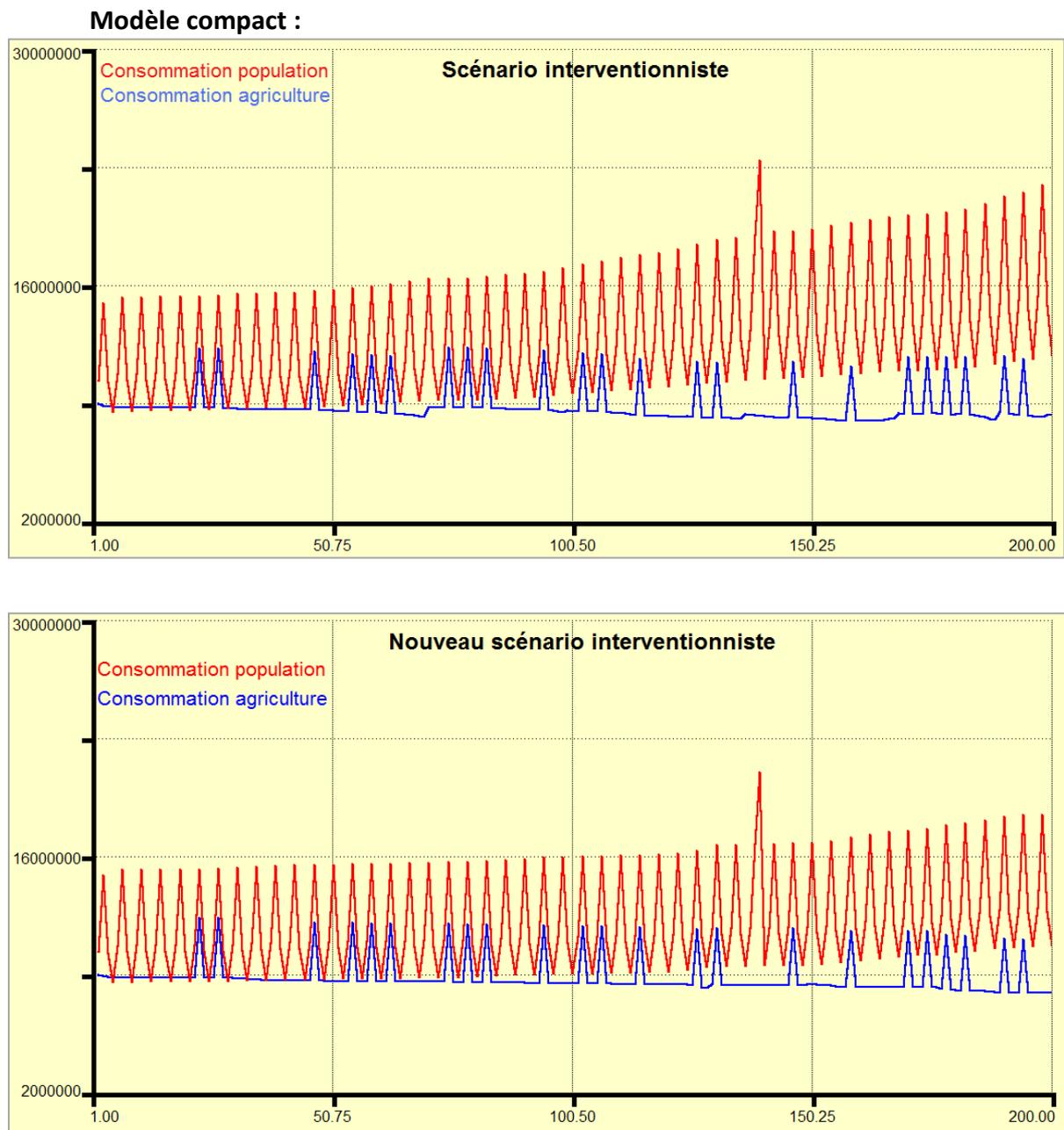


Figure V-31. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau du premier scénario interventionniste et du nouveau scénario interventionniste pour le modèle compact (projections climatiques B1)

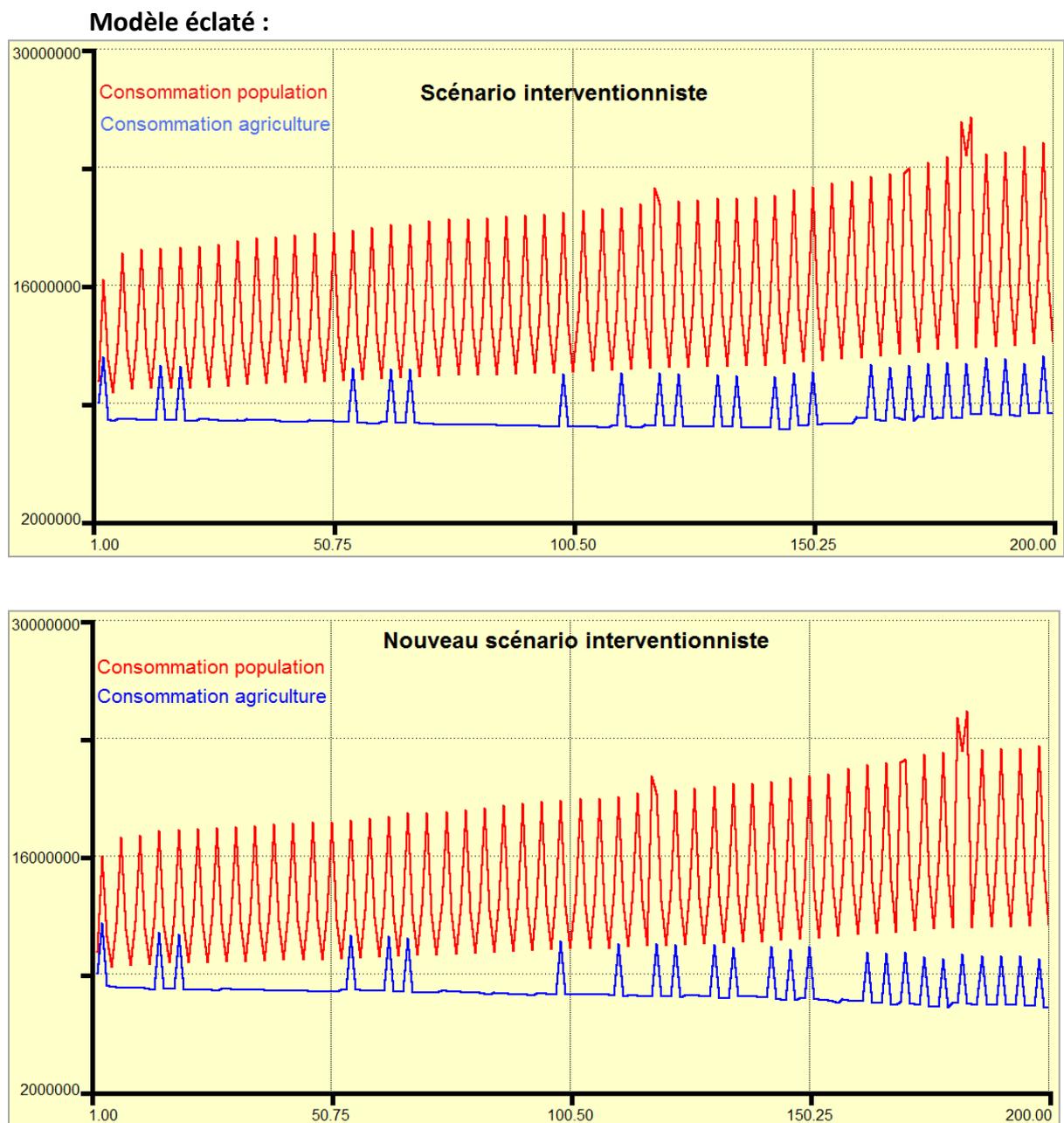


Figure V-32. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau du premier scénario interventionniste et du nouveau scénario interventionniste pour le modèle éclaté (projections climatiques A2)

Le nouveau scénario interventionniste permet dans le cas du modèle compact de contrer l'augmentation de la variabilité saisonnière. Ses effets sont plus limités sur les consommations du modèle éclaté. Nous avons en effet pu constater que, pour le modèle éclaté, les nouvelles modalités d'urbanisation n'aboutissent pas à une densification, mais à une extension un peu moins importante de l'habitat individuel. Sur la période 2010-2060, les

16 km² de bâti de type individuel s'étendent jusqu'à 34 km² pour le nouveau scénario interventionniste (41 km² pour le premier scénario interventionniste).

Ces actions d'aménagement sont néanmoins intéressantes puisqu'elles réduisent les consommations d'eau de façon structurelle et permettent, par la réorganisation qu'elles instaurent, d'avoir une action de long terme sur les consommations d'eau. Leur effet sur la réduction des situations à risque aurait par exemple été plus important si la période d'analyse était prolongée jusqu'en 2100.

2.2. Simulations de stratégies d'adaptation

2.2.1. Identification de mesures d'adaptation en adéquation avec les espaces

Les précédents tests ont montré que les effets des mesures d'adaptation ne sont pas les mêmes selon les espaces. Ces mesures peuvent être plus ou moins efficaces, et donc pertinentes, en fonction des organisations spatiales et de leurs dynamiques. C'est pourquoi nous cherchons à définir des mesures d'adaptation qui soient en adéquation avec le modèle compact et le modèle mité et leurs évolutions possibles. Dans un premier temps, nous nous concentrons sur les mesures d'adaptation en relation avec la planification de l'espace, c'est-à-dire concernant les règles d'urbanisation et la protection des espaces agricoles. L'objectif est toujours de concilier le développement de l'aire urbaine avec un maintien de l'activité agricole, tout en limitant les consommations d'eau de manière à réduire les épisodes de tension et de crise.

Dans le cas du modèle éclaté, les modalités d'urbanisation introduites au sein du nouveau scénario interventionniste n'ont pas permis d'instaurer une véritable densification du bâti, mais seulement de limiter l'extension de l'habitat individuel. Ainsi, le mitage de l'espace requiert une action plus poussée pour obtenir une densification du modèle éclaté. Un renforcement des actions en faveur de la densification est mis en place dans ce que nous appelons le « nouveau scénario interventionniste renforcé ». Il consiste à favoriser l'extension urbaine directement sous forme d'habitat mixte. Pour cela, les règles de transition des espaces agricoles et naturels vers l'habitat individuel sont dédoublées pour permettre la transition vers l'habitat mixte (Tableau 38). Pour contrebalancer ce doublement des règles de transition vers le bâti, les durées de vie des espaces agricoles et naturels ont dû être fortement augmentées, de manière à ce que le développement des aires urbaines ne soit pas démesuré.

Durées de vie	Règles de transition
Arr>Arr=DA(1300,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;1)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Sec>Sec=DA(1300,100)	Arr>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Ind>Ind=DA(900,200)	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;1)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Nat>Nat=DA(1900,200)	Sec>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
Col>Col=DI	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;1)*AV(Nat;3)*ZV(LitP;0)
Att>Att=DI	Nat>Ind=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(LitP;0)
AgP>AgP=DI	Arr>Mix=PV(Ind+Mix;1)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
LitP>LitP=DI	Arr>Mix=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
	Sec>Mix=PV(Ind+Mix;1)*AV(Arr+Sec;3)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
	Sec>Mix=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(AgP;0)*ZV(LitP;0)
	Nat>Mix=PV(Ind+Mix;1)*AV(Nat;3)*ZV(LitP;0)
	Nat>Mix=PV(Ind+Mix;2)*AC(Att;1)*ZV(LitP;0)
	Ind>Mix=PV(Mix;1)
	Ind>Mix=PV(Mix;2)*AC(Att;1)
	Nat>Sec=PV(Arr;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Arr;0,045)
	Nat>Sec=PV(Sec;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Sec;0,045)
	Nat>Sec=PV(Sec+Arr;2)*ZV(Ind+Mix;7)*DE(Sec+Arr;0,09)

Tableau 38. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie avec les nouvelles règles de transition des espaces agricoles et naturels en bâti de type mixte

Pour le modèle compact, les résultats de la simulation pour l'année 2060 (Figure V-33) montrent peu de différences avec ceux du nouveau scénario interventionniste, qui conduisait déjà à une densification (Figure V-29). En revanche, les différences sont significatives en ce qui concerne le modèle éclaté, entre la simulation du nouveau scénario interventionniste renforcé (Figure V-34) et le nouveau scénario interventionniste (Figure V-30). D'une part, l'extension du bâti est plus contenue et, d'autre part, le bâti mixte a largement gagné du terrain sur l'habitat individuel.

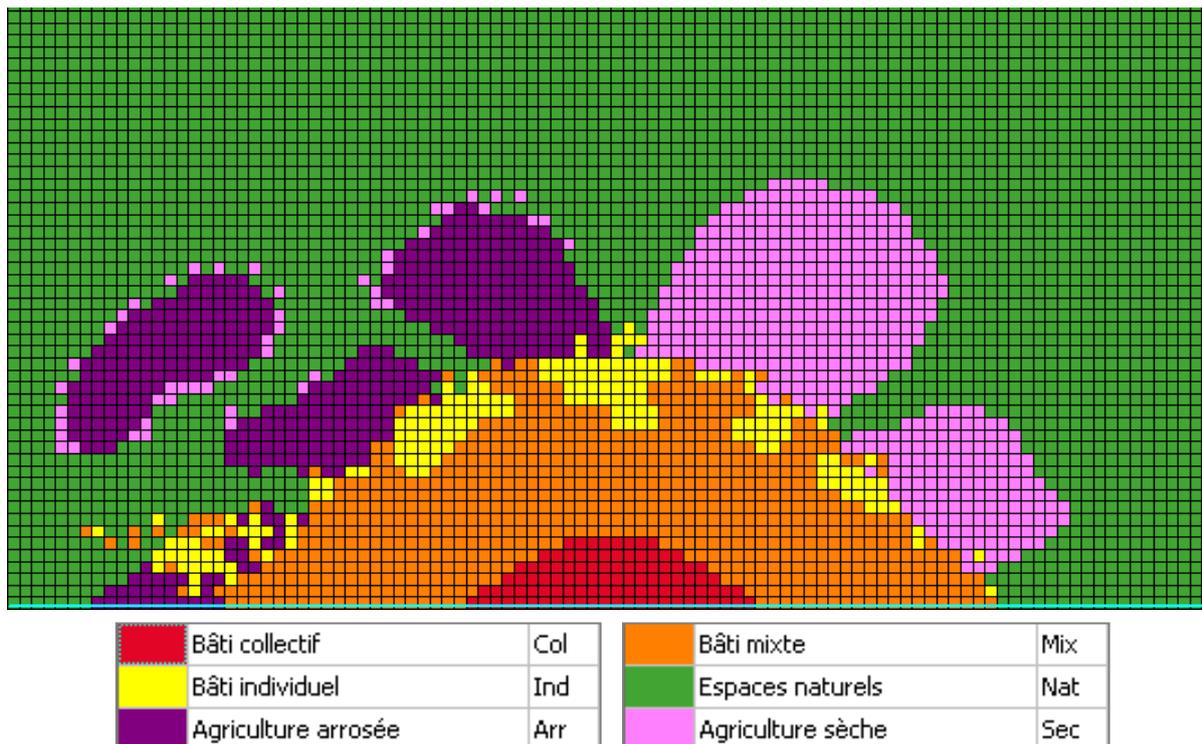


Figure V-33. Evolution du modèle compact au pas de temps 200 avec l'urbanisation des espaces agricoles et naturels en bâti de type mixte (zoom)

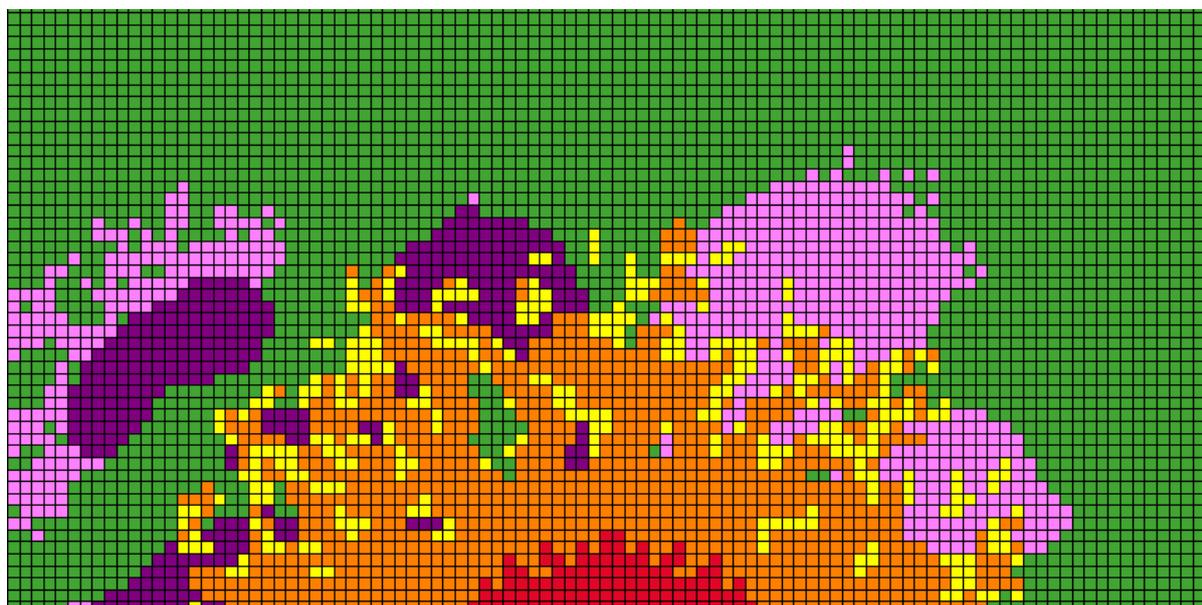


Figure V-34. Evolution du modèle éclaté au pas de temps 200 avec l'urbanisation des espaces agricoles et naturels en bâti de type mixte (zoom)

En conséquence, l'évolution de la consommation d'eau de la population ne présente pas de changement pour le modèle compact (Figure V-35) par rapport au nouveau scénario interventionniste (Figure V-31). Malgré la densification, il n'y a pas non plus de changement dans le profil d'évolution de la consommation d'eau de la population pour le modèle éclaté (Figure V-36) par rapport au nouveau scénario interventionniste (Figure V-32).

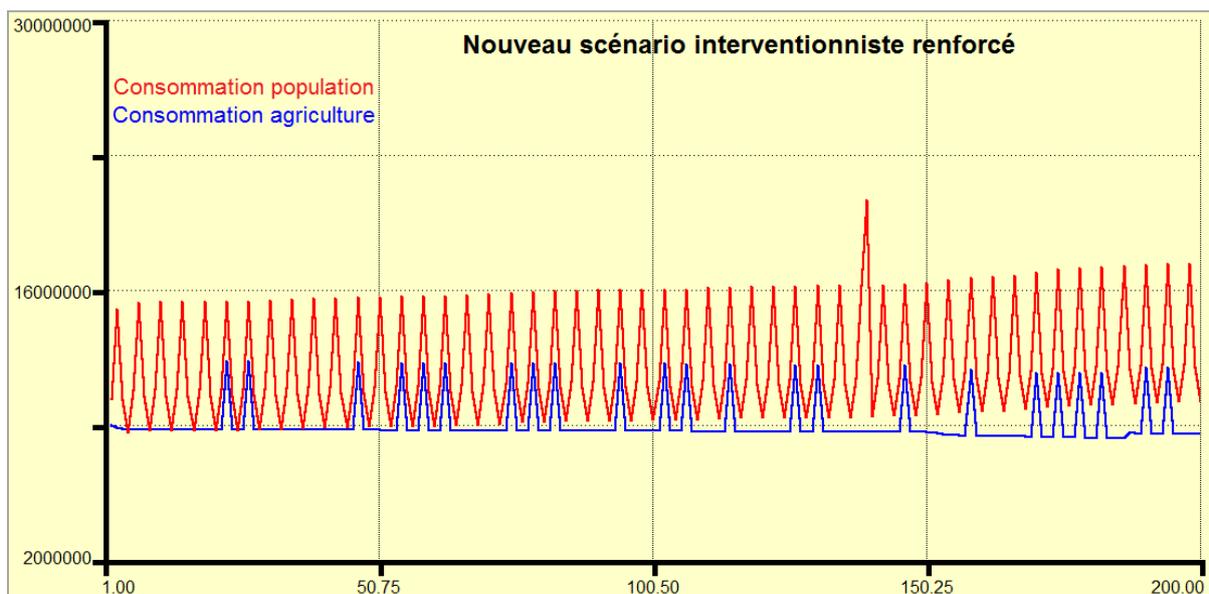


Figure V-35. Evolution des consommations d'eau pour le modèle compact (projections climatiques B1) selon le nouveau scénario interventionniste renforcé

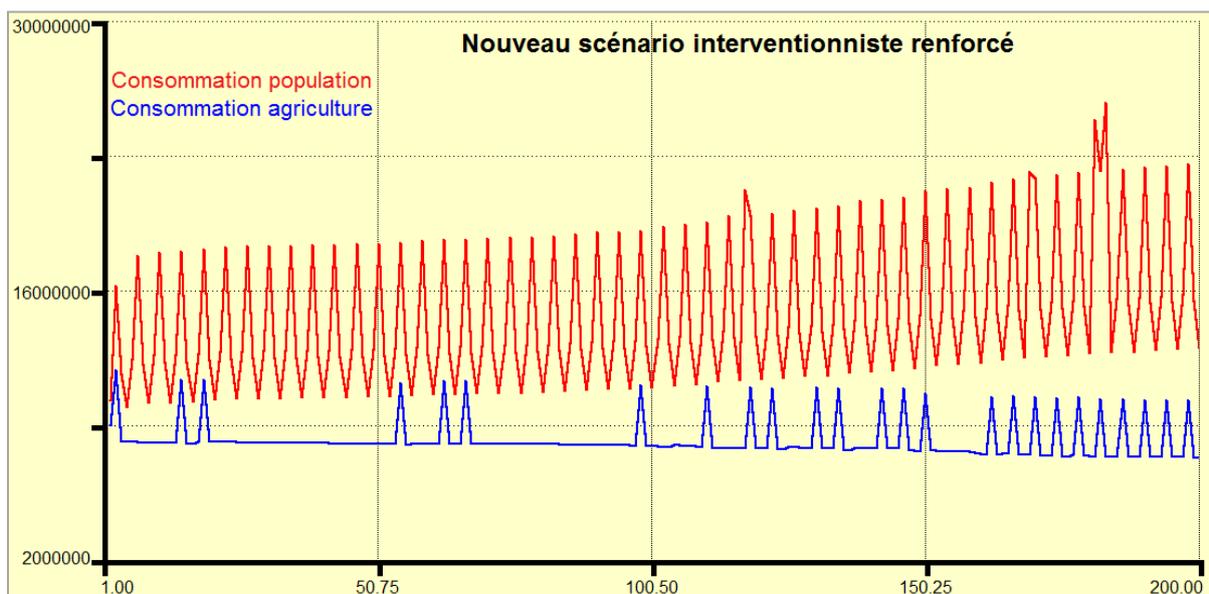


Figure V-36. Evolution des consommations d'eau pour le modèle éclaté (projections climatiques A2) selon le nouveau scénario interventionniste renforcé

Ceci s'explique par une forte croissance de la population au niveau du modèle éclaté pour le nouveau scénario interventionniste renforcé. En effet, le taux de croissance annuel moyen de la population pour la période 2010-2060 est de 0,94% pour le modèle éclaté. Ainsi, avec le nouveau scénario interventionniste renforcé, la population finale est bien plus conséquente (511200 habitants) pour ce nouveau scénario renforcé que pour le nouveau scénario interventionniste (467400 habitants). Pour le modèle compact, le taux de croissance annuel moyen de la population est de 0,45%. La population finale est donc légèrement plus

faible (401600 habitants) pour ce nouveau scénario renforcé que pour le nouveau scénario interventionniste (420600 habitants). Au final, ce nouveau scénario interventionniste renforcé aboutit au même nombre de situations à risque (Tableau 39) que le précédent scénario (Tableau 37), mais avec un nombre plus important d'habitants pour le modèle éclaté.

	nouveau scénario interventionniste renforcé			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	10	10	9	10
situation de crise	2	4	1	2
total situations à risque	12	14	10	12

Tableau 39. Nombre de situations à risque pour le nouveau scénario interventionniste renforcé

Le calcul de la consommation moyenne par habitant à l'été 2060 montre que celle-ci a bien baissé pour le modèle éclaté (Tableau 40) et que la mesure renforcée de densification a donc bien porté ses fruits. Pour le modèle compact, la consommation moyenne par habitant, qui avait connu une baisse significative lors du passage au nouveau scénario interventionniste, ne connaît qu'une diminution minime pour le nouveau scénario interventionniste renforcé.

	consommation moyenne par habitant en m3 (été 2060)	
	modèle compact	modèle éclaté
scénario interventionniste	40	42
nouveau scénario interventionniste	37	41
nouveau scénario interventionniste renforcé	36	37

Tableau 40. Consommation moyenne par habitant en m3 à l'été 2060 pour les trois scénarios interventionnistes (projections A2)

En conclusion, ces simulations permettent de tester quelles sont les mesures adaptées en fonction des configurations spatiales initiales. Le modèle éclaté nécessite une action plus poussée pour aboutir à sa densification. Il est en effet plus difficile à adapter que le modèle compact. Cette action plus poussée n'a que très peu d'effet sur le modèle compact, qui est déjà densifié avec le précédent scénario. Ainsi le nouveau scénario interventionniste est adapté au modèle compact, tandis que le nouveau scénario interventionniste renforcé est davantage en adéquation avec le modèle mité.

2.2.2. Combinaison de mesures d'adaptation de différentes natures

Les tests menés sur différents types de mesures d'adaptation ont montré que leurs effets ne sont pas les mêmes dans le temps. L'objectif de cette section est de tester la combinaison de ces différents types de mesures et l'effet de leur mise en œuvre conjointe sur

le nombre de situations à risque. La combinaison de différents types de mesures, agissant sur différents « leviers » du territoire et sur différents horizons temporels, constitue une perspective majeure des stratégies d'adaptation au changement climatique. Pour ces analyses, nous nous basons sur le nouveau scénario interventionniste pour le modèle compact et sur le nouveau scénario interventionniste renforcé pour le modèle éclaté, qui correspondent aux mesures les plus en adéquation avec ces deux organisations spatiales et leurs dynamiques. Les nombres d'apparition des situations à risques sont rassemblés dans le Tableau 41. Le modèle éclaté présente un nombre plus important de situations à risque, mais il rassemble une plus grande population. Ces valeurs servent de repère pour évaluer l'intérêt de l'intégration de mesures d'adaptation supplémentaires.

	nouveau scénario interventionniste pour le modèle compact nouveau scénario interventionniste renforcé pour le modèle éclaté			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	10	10	9	10
situation de crise	2	4	1	2
total situations à risque	12	14	10	12

Tableau 41. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté

Dans un premier temps, les mesures instaurant une utilisation économe de l'eau sont ajoutées. Pour rappel, il s'agit des mesures induisant une réduction des consommations moyennes d'eau sur une période de transition. Les deux périodes de transition – tardive et précoce – qui ont précédemment été testées de manière isolée (cf. Chapitre V.2.1.2) sont à présent intégrées pour simuler une combinaison de mesures d'adaptation de différentes natures. Les résultats montrent que l'instauration d'une utilisation économe de l'eau est efficace, même lorsqu'elle est tardive (Tableau 42 et Tableau 43). Aussi bien pour les projections climatiques A2 que B1, le nombre de situation à risque est moindre qu'en l'absence de cette mesure de réduction des consommations moyennes. Néanmoins, une transition précoce permet de réduire plus fortement le nombre de situation à risque pour le modèle éclaté, ce qui n'est pas le cas pour le modèle compact. En dépit des mesures de densification mises en place, nous retrouvons donc la nécessité de la mettre en place plus précocement dans le cas du modèle mité, comme cela était déjà le cas lors du test initial de cette mesure.

	<u>transition tardive</u> nouveau scénario interventionniste pour le modèle compact nouveau scénario interventionniste renforcé pour le modèle éclaté			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	8	11	4	6
situation de crise	1	1	1	1
total situations à risque	9	12	5	7

Tableau 42. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté, avec une transition tardive

	<u>transition précoce</u> nouveau scénario interventionniste pour le modèle compact nouveau scénario interventionniste renforcé pour le modèle éclaté			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	8	8	4	5
situation de crise	1	1	0	0
total situations à risque	9	9	4	5

Tableau 43. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté, avec une transition précoce

À partir de l'intégration des périodes de transition les plus adaptées à chacun des deux modèles d'aire urbaine, nous testons l'ajout supplémentaire des mesures de restriction de la consommation. Ces restrictions sont déclenchées lorsque le niveau de la réserve passe en-dessous d'un seuil d'alerte. Face à l'inefficacité d'un seuil d'alerte trop bas et au nombre trop important de périodes de restriction d'un seuil trop élevé, seul le seuil d'alerte intermédiaire des précédents tests est intégré aux simulations. Ainsi, les restrictions sur les consommations d'eau apparaissent lorsque le niveau de la réserve est inférieur à 75 000 000 m³ (Tableau 44).

	<u>alerte 2</u> nouveau scénario interventionniste avec transition tardive pour le modèle compact nouveau scénario interventionniste renforcé avec transition précoce pour le modèle éclaté			
	A2		B1	
	modèle compact	modèle éclaté	modèle compact	modèle éclaté
situation de tension	9	9	3	4
situation de crise	0	0	1	0
total situations à risque	9	9	4	4
nombre d'alertes	16	17	11	13

Tableau 44. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes et les périodes de transition les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté, avec une restriction au-dessous du seuil d'alerte de 75 000 000 m³

Avec la baisse des consommations issues des mesures précédentes, une baisse des niveaux d'apparition des situations de tension et de crise aurait logiquement pu être envisagée et aurait mécaniquement entraîné une baisse de leur nombre. Néanmoins, nous avons gardé les mêmes seuils afin de privilégier la comparabilité. Les effets de cette mesure sont limités en termes de réduction du nombre de situations à risque. Elle permet néanmoins d'éviter les situations de crise (projections climatiques A2). En outre, le bénéfice de cette mesure n'est que faiblement contrebalancé par le nombre d'alertes, qui est assez limité, tant pour les projections climatiques A2 que B1, du fait de la réduction générale des consommations d'eau sur l'ensemble de la période. En conclusion, cette mesure peut être utilement intégrée dans la stratégie de développement et d'adaptation au changement climatique de chacun des deux espaces fictifs (Tableau 45).

	Modèle compact	Modèle éclaté
Protection des zones de bord de mer	X	X
Protection des zones agricoles sèches	X	X
Relocalisation de l'agriculture urbanisée en agriculture sèche	X	X
Densification du bâti individuel en bâti mixte	X	X
Extension urbaine par contiguïté		X
Extension urbaine en bâti mixte		X
Transition précoce vers une utilisation économe de l'eau		X
Transition tardive vers une utilisation économe de l'eau	X	
Restriction des consommations d'eau pour un seuil inférieur à 75 000 000 m ³	X	X

Tableau 45. Stratégie de développement et d'adaptation au changement climatique de chacun des deux espaces fictifs

2.3. Discussion et perspectives pour l'analyse de l'adaptabilité des territoires

2.3.1. L'adaptabilité des territoires explorée par la simulation

L'approche qui a été développée permet d'explorer l'adaptabilité des territoires par la simulation. Les simulations, testant diverses mesures d'adaptation, ont montré que leurs effets ne sont pas les mêmes selon les espaces. Les mesures d'adaptation sont plus ou moins efficaces, et donc pertinentes, en fonction des espaces fictifs. Cela montre que les territoires ont une adaptabilité différenciée, en fonction de leur organisation spatiale. Cette adaptabilité est analysée à travers l'adéquation des mesures avec les territoires, c'est-à-dire par les capacités de la mesure à modifier l'organisation spatiale (par exemple limiter l'extension du

bâti individuel) ou les conséquences de l'organisation spatiale (par exemple réduire les consommations d'eau liées à l'habitat individuel). Dans les simulations, c'est donc par leur efficacité que nous avons pu évaluer l'adéquation des mesures avec les territoires fictifs et appréhender leur adaptabilité. Le modèle compact montre une plus grande adaptabilité pour la réduction des consommations d'eau que le modèle éclaté, qui présente plus de résistance et d'inertie au niveau spatial. Les propriétés du modèle compact sont plus favorables aux changements insufflés par les mesures d'adaptation. Cela ne veut pas dire qu'il ne soit pas possible d'adapter le modèle mité, mais que cela requiert une action plus forte ou différente. L'espace est doté d'un potentiel qui peut favoriser l'effet de mesures d'adaptation, mais aussi en contrer l'efficacité. En conséquence, il paraît primordial d'intégrer l'organisation spatiale et ses dynamiques à la réflexion sur la définition de mesures d'adaptation, afin qu'elles soient elles-mêmes adaptées aux espaces où elles sont appliquées.

La simulation constitue une approche exploratoire qui permet d'appréhender la complexité du fonctionnement du territoire et de faire progresser la connaissance que l'on a de celui-ci et de son adaptabilité. Au fur et à mesure des simulations, de nouvelles idées émergent et peuvent être testées, seules ou combinées à d'autres. Cette possibilité de combiner différentes mesures revêt une importance majeure puisque c'est le principe même des stratégies d'adaptation. La modélisation permet en outre de prendre en compte les temporalités multiples des territoires et de projeter l'évolution du territoire pour des horizons temporels éloignés. Les possibilités offertes par la modélisation sont vastes et il est facile d'intégrer d'autres composantes à notre modèle et de tester d'autres mesures.

Ce n'est pas la faisabilité des mesures qui est ici analysée. Non pas que cela ne soit pas capital, mais cela relève d'autres considérations (agronomiques, acceptabilité sociale, choix politiques, etc.) et l'objectif était de montrer le rôle de la configuration spatiale. Néanmoins, ces aspects pourraient être intégrés dans la modélisation. Par exemple, concernant l'application des mesures de restriction de la consommation d'eau, il serait possible de simuler un pourcentage d'adhésion de la population qui serait évolutif et pourrait par exemple diminuer en cas d'alertes répétées trop fréquemment. D'autres leviers pourraient être envisagés, comme une politique de promotion touristique favorisant l'étalement de la fréquentation sur l'année afin de freiner la croissance des consommations d'eau estivales. En effet, le modèle permet de prendre en considération des mesures de différentes natures et, comme nous l'avons vu pour la protection des zones agricoles et de bord de mer, d'intégrer des politiques territoriales dont l'objectif n'est pas ou pas seulement la réduction des consommations d'eau.

De nouveaux types de mesures d'adaptation pourraient être introduits, comme la simulation de mesures réactives. Il s'agit de mesures prises consécutivement à des situations de tension ou de crise. Les simulations jusqu'alors présentées mobilisent l'automate cellulaire dans un premier temps, puis les résultats de l'évolution de l'occupation du sol sont introduits

dans le modèle en dynamique des systèmes dans un second temps. Il serait néanmoins possible de simuler une rétroaction sur l'évolution de l'occupation du sol : en cas d'apparition de situation à risque au trimestre X, la réponse apportée pourrait être modélisée dans l'automate cellulaire à partir de cette date (par exemple la définition d'un nouveau périmètre protégé). Ces nouveaux résultats seraient intégrés dans le modèle en dynamique de systèmes où ils constitueraient la fin de série de l'évolution de l'occupation du sol. Enfin, d'autres configurations spatiales initiales et d'autres risques associés au changement climatique pourraient être introduits et permettre notamment d'étudier l'effet d'une mesure d'adaptation aussi bien sur des risques liés au milieu littoral que sur des risques liés au milieu urbain.

En l'absence de compétences hydrologiques et climatiques, le modèle développé n'a pas de fondement scientifique au niveau de la modélisation de la réserve en eau. L'idée était, pour tester la démarche générale, de simuler une variabilité de la réserve en eau qui soit fonction des paramètres climatiques et des saisons. De même qu'au niveau agronomique, le modèle n'intègre aucunement des savoirs sur les propriétés des différents types d'agriculture et sur les possibilités de reconversion de l'un à l'autre, ou d'implantation dans certains secteurs géographiques selon les conditions pédologiques. Nous pensons que cela n'enlève pas l'intérêt de la démarche dont l'objectif est heuristique. La modélisation d'espaces fictifs est à l'origine d'une partie de cette liberté d'exploration et de test. Néanmoins, pour une version plus réaliste et aboutie, une connaissance scientifique pluridisciplinaire, et même interdisciplinaire, est nécessaire pour aborder les questions de fonctionnement territorial et d'adaptation au changement climatique.

2.3.2. La simulation comme aide à la réflexion et à la définition de stratégies d'adaptation

Si un tel modèle peut aider à faire progresser la connaissance de l'effet différencié de divers types de mesures d'adaptation sur les territoires, en fonction de leur organisation spatiale, il peut également aider les gestionnaires des territoires dans leur compréhension des enjeux liés à la complexité de l'adaptation au changement climatique et dans leur réflexion sur la définition de stratégies d'adaptation. Nous indiquons dans la section précédente que l'objet de cette modélisation n'était pas de définir la faisabilité de mesures d'adaptation, mais de tester leurs effets via le jeu des interrelations liant les différentes composantes du système territorial. Deux logiques d'utilisation de cet outil nous paraissent possibles et complémentaires vis-à-vis des gestionnaires des territoires. La première possibilité consiste, à partir de scénarios de développement territorial et d'évolution des paramètres climatiques, à proposer des mesures d'adaptation en adéquation avec le territoire et ses évolutions. Les mesures proposées devraient ensuite être comparées selon leur coût économique, social et environnemental et leur faisabilité analysée. La seconde possibilité consiste à tester les

mesures d'adaptation que les décideurs envisagent et conçoivent en prenant en compte en amont les aspects économiques, sociaux et environnementaux. Les deux logiques nécessitent une démarche itérative entre décideurs et chercheurs. La modélisation et les simulations résultantes peuvent ainsi constituer une aide à la décision et plus globalement une aide à la réflexion, dans la mesure où l'exploration du système par la simulation permet une meilleure appréhension de ce qu'est l'adaptabilité et de comment la mettre en place. À cet égard, il nous semble que la dimension d'expérimentation est fondamentale. Avoir la possibilité de tester l'effet de mesures et de combinaisons de mesures d'adaptation « par soi-même » permet de progresser dans la compréhension du fonctionnement du système et sert de support à la conception de stratégies d'adaptation. Selon P. Langlois (2005b), la possibilité de simuler le fonctionnement du système dans un ordinateur « permet d'envisager un grand nombre de paramétrages, de faire varier les conditions initiales, même de manière irréaliste, et d'en voir rapidement les conséquences », et ainsi de faire évoluer le modèle de manière incrémentale. En outre, la possibilité d'intégrer diverses problématiques permet une réflexion sur l'intégration des politiques territoriales sur le long terme, et donc dans une optique de durabilité territoriale.

Se pose alors la question de l'interface permettant aux décideurs de procéder eux-mêmes à des simulations, du paramétrage jusqu'à l'affichage des résultats. Cet aspect a fait l'objet de premiers développements à l'occasion du travail de recherche mené sur l'évaluation des impacts du changement climatique sur le fonctionnement de l'aire urbaine de Nice (Voiron-Canicio *et al.* 2009). L'enjeu est de répondre aux attentes des décideurs et gestionnaires en leur apportant des outils de connaissance sur les devenir possibles des territoires. Deux outils complémentaires au modèle en dynamique des systèmes sont proposés (Figure V-37) :

- un outil qui permet d'appréhender la connaissance développée par le modèle en dynamique des systèmes sous l'angle de la mise en œuvre d'un raisonnement : le système à base de connaissances.

- un outil qui fournit l'expression visuelle de ce que pourrait être le territoire à un certain horizon de temps selon les scénarios explorés : un générateur de maquettes virtuelles du territoire en 3D.

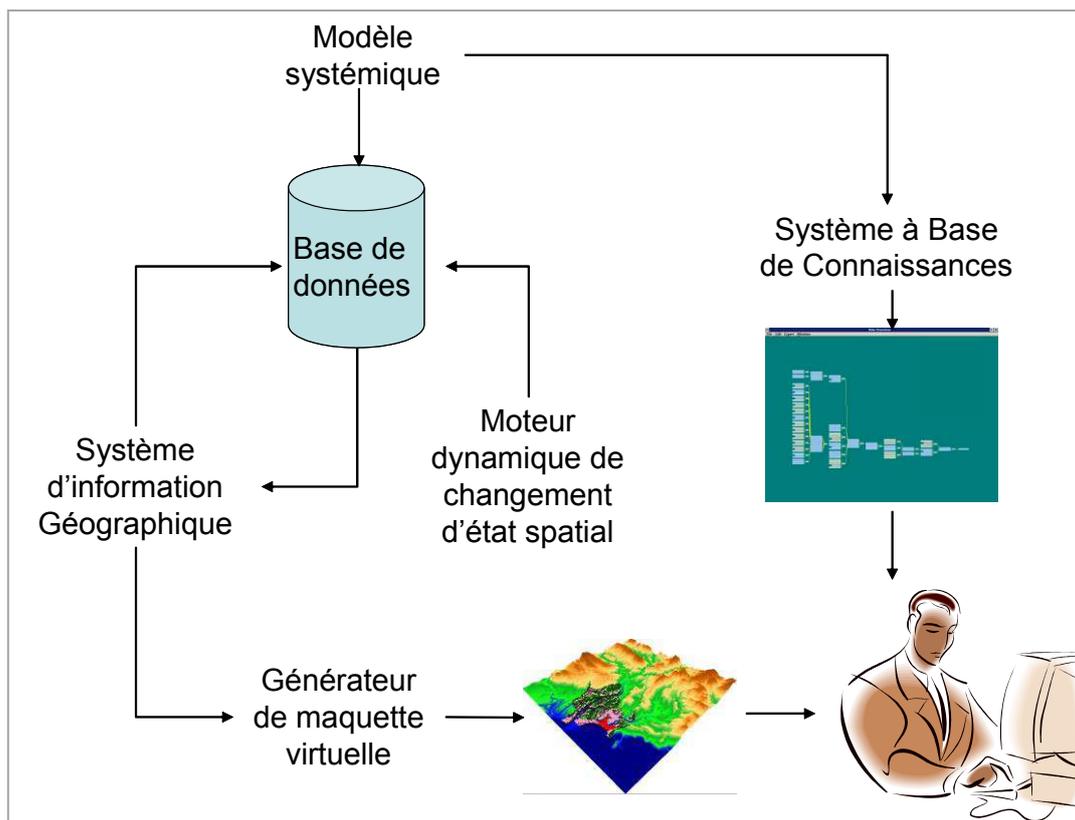


Figure V-37. Architecture générale de l'environnement de simulation (Voiron-Canicio et al. 2009)

D'un point de vue opérationnel, la possibilité offerte aux décideurs de suivre pas à pas un raisonnement qui aboutit à la préconisation de mesures de gestion du territoire adaptées au contexte socio-environnemental sous contrainte du changement climatique, ainsi que la mise en évidence des répercussions spatiales de leurs décisions, sont autant de facteurs susceptibles d'alimenter leur réflexion face à une prise de décision. D'autre part, ces outils peuvent mettre à disposition de tous les acteurs du territoire, décideurs et gestionnaires comme grand public, une connaissance mobilisable dans le cadre de démarches participatives.

L'intégration en amont de l'automate cellulaire dans la chaîne méthodologique permet une prise en compte des aspects spatiaux, dont nous avons vu le rôle dans l'adaptabilité du système territorial, dans la modélisation. L'intégration de l'automate cellulaire permet de tester différents scénarios d'aménagement du territoire qui ont par essence une forte composante spatiale (définition de périmètres de protection, modalités de développement de l'urbanisation, etc.).

Conclusion

À partir de la modélisation du fonctionnement d'aires urbaines littorales, l'efficacité de mesures d'adaptation de différentes natures a pu être testée. La démarche exploratoire mise en place se base sur la comparaison des résultats de simulations de mesures d'adaptation pour différents scénarios (climatiques et de politique territoriale) et pour deux configurations spatiales initiales. Selon les mesures, cette efficacité peut être la même pour les différents espaces. On peut mentionner l'efficacité des mesures de restriction des consommations d'eau sur les situations de crise aiguës et leur effet limité dans le temps. **L'efficacité des mesures d'adaptation peut aussi être spécifique et différente selon les organisations spatiales initiales.** Par exemple, la politique de densification doit être renforcée pour être efficace pour l'aire urbaine éclatée, alors qu'elle agit efficacement pour l'aire urbaine compacte. Selon les modalités de mise en place de la mesure, son efficacité diffère. Par exemple, l'instauration tardive d'une réduction des consommations d'eau ne permet plus une diminution des situations de tension sur la ressource en eau. Cet effet sur l'efficacité peut lui-même être différent selon les configurations spatiales. Ainsi, l'instauration tardive de la réduction des consommations d'eau est aussi efficace que sa mise en place précoce pour l'aire urbaine compacte, tout comme le renforcement de la politique de densification urbaine n'y apporte pas d'amélioration supplémentaire. **Les résultats de ces simulations permettent donc d'appréhender l'adaptabilité différenciée des territoires selon leur organisation spatiale.** Les simulations permettent en outre de comparer l'efficacité de mesures entre elles sur un même espace et l'effet de leur combinaison. Enfin, les interactions avec d'autres politiques territoriales, comme la protection des bords de mer et des zones agricoles, peuvent être explorées et les solutions recherchées afin de limiter les effets non désirés. Bien qu'appliquée à des territoires fictifs, et dans une démarche heuristique et exploratoire, l'approche développée présente ainsi un fort potentiel en termes d'aide à la réflexion et à la définition de stratégies d'adaptation en adéquation avec les territoires et l'adaptabilité de leur organisation spatiale.

Conclusion du Chapitre V

Modéliser les interactions climat-nature-territoire à une grande échelle, dans une optique prospective, est une tâche délicate. Néanmoins, les simulations réalisées montrent l'intérêt d'un modèle, même appliqué à des espaces fictifs, intégrant les dimensions spatiales et temporelles et la complexité des territoires, pour l'analyse de l'adaptabilité des territoires au changement climatique. Couplant automate cellulaire et dynamique des systèmes, le modèle réalisé permet de tester les effets de mesures d'adaptation de différentes natures sur les consommations d'eau et sur l'apparition de situation de tension et de crise quant à la disponibilité de cette ressource. **Malgré les incertitudes et les approximations inhérentes à la complexité des systèmes, les résultats permettent de montrer que l'efficacité des mesures d'adaptation dépend de l'organisation spatiale du territoire. L'espace joue en effet sur ses propres évolutions et ainsi sur l'adaptabilité du territoire. Ainsi, l'adaptabilité des territoires est différente selon leur organisation spatiale.** Les simulations qui ont été réalisées montrent que l'adaptation peut être mise en place à différents niveaux : une action directe sur les consommations d'eau (réduire la consommation), une action sur les activités qui les génèrent (favoriser l'agriculture sèche) mais aussi par une action plus structurelle sur les configurations spatiales qui par exemple limitent l'extension des formes d'habitat les plus consommatrices. **Ces actions et leurs combinaisons peuvent être plus ou moins efficaces et en adéquation avec les différentes organisations spatiales et leurs évolutions. Au terme de cette analyse, dont les prolongements sont néanmoins multiples, il apparaît clairement qu'une approche géographique, basée sur une analyse systémique et spatiale du fonctionnement des territoires, permet une meilleure connaissance de l'adaptabilité des territoires (H4). La simulation a permis de mettre en évidence des mesures d'adaptation en adéquation avec les contextes territoriaux (H5). Les hypothèses H4 et H5 sont ainsi validées.** Apparaît parallèlement la nécessité de développer une approche d'analyse de l'adaptabilité des territoires qui soit plus opérationnelle et appliquée, afin de répondre plus directement aux attentes des gestionnaires des territoires.

Chapitre VI. Évaluation de l'adaptabilité par diagnostic territorial et analyse systémique : Activités et acteurs en Camargue face à la montée du niveau de la mer

Face à la nécessité de développer des approches plus directement opérationnelles, une deuxième démarche d'analyse de l'adaptabilité des territoires a été testée. Elle s'apparente à un diagnostic territorial appliqué à la problématique de l'adaptation des activités en Camargue face à la montée du niveau de la mer. Elle a été développée dans le cadre du programme de recherche CAMPLAN - Gestion intégrée d'un hydrosystème : Camargue et Plan-du-Bourg (Allouche *et al.* 2012), mené par l'UMR ESPACE, en collaboration avec le bureau d'étude Ressource et la Tour du Valat⁵². Ce programme a constitué un contexte favorable au rassemblement et à la confrontation de connaissances expertes sur ce territoire, à la fois pluridisciplinaires et transversales, par la diversité des chercheurs de l'équipe et leurs échanges. Notre contribution à ce programme de recherche s'est attachée, dans un volet systémique final, à mettre en relation les connaissances produites par l'ensemble de l'équipe - et avec leur concours - pour identifier les éléments qui, dans le fonctionnement du système territorial, sont favorables et défavorables à l'adaptation, en termes d'organisation spatiale mais aussi au niveau des acteurs et de la gouvernance.

1. Démarche de diagnostic de l'adaptabilité du système camarguais

La Camargue est un système complexe dont l'analyse du fonctionnement et de l'adaptabilité a mobilisé les connaissances des chercheurs du programme CAMPLAN. Le diagnostic de l'adaptabilité du système camarguais a ainsi été construit en interaction avec eux, dans une démarche articulant l'identification de critères génériques de l'adaptabilité territoriale, la mise en évidence de la présence et du rôle de ces critères au sein du territoire camarguais et enfin une analyse systémique pour mettre en lumière les points de blocages et les leviers d'action.

⁵² Programme interdisciplinaire de recherche « Eaux et Territoires » CNRS – MEEDDM – CEMAGREF

1.1. La Camargue, un système complexe

1.1.1. Un territoire dont le fonctionnement est compromis par l'élévation du niveau de la mer

L'eau est une préoccupation ancienne en Camargue, où les Hommes se sont installés dès l'Antiquité. Le système camarguais est caractérisé par un ensemble d'interrelations entre l'hydrosystème et l'anthroposystème. La relation eau-territoire, fondatrice de l'identité de ce territoire de delta, est complexe du fait de la multiplicité des interactions entre les composantes naturelles et anthropiques, et de leur variabilité dans le temps et dans l'espace.

La Camargue et le Plan-du-Bourg constituent le delta du Rhône, sur une superficie d'environ 100 000 ha. Le Nord du delta est caractérisé par les terres agricoles, le centre par l'étang du Vaccarès et le Sud présente des marais et des plans d'eau salés (Figure VI-1). L'artificialisation du delta s'est fortement accrue depuis le milieu du XIX^e siècle avec les progrès techniques et la volonté de soumettre cet espace pour les activités humaines. Les eaux sont drainées vers l'étang du Vaccarès, qui est séparé de la mer par la digue à la mer. De nombreux aménagements organisent la présence et la circulation de l'eau : poldérisation des terres, canaux (plus de 1000 km pour la seule Île de Camargue), vannes, pompes, endiguement du Rhône, digue à la mer, enrochements, etc. L'urbanisation, limitée mais fortement vulnérable au risque de submersion marine par sa localisation (Saintes-Maries-de-la-Mer), nécessite en effet la mise en place d'ouvrages de défense contre la mer. Le développement de l'urbanisation, notamment pour le Plan-du-Bourg, entraîne une imperméabilisation des terres accélérant le ressuyage des terres, et provoquant des débordements et des situations de crise hydraulique en raison d'exutoires inadaptés (Allouche *et al.* 2012). Les activités en interrelation avec l'eau sont nombreuses et très variées : agriculture (blé, riz, etc.), élevage (manades), marais salants, préservation de la nature, chasse, pêche, coupe du roseau, tourisme, etc. Leurs besoins en eau sont cependant divers en termes de quantité, de salinité, de saisonnalité et sont même souvent contradictoires. Par exemple, les besoins de la riziculture déterminent la période de distribution de l'eau dans le réseau, qui correspond à une entrée d'eau au printemps et en été. Ce régime hydrologique va à l'inverse du régime naturel du delta et impacte d'autres activités comme la chasse et la conservation des espèces. Cette interdépendance par l'eau rend parfois difficile la conciliation des activités. Le rôle des canaux, assurant l'irrigation, l'assainissement et le drainage des terres, ne se limite plus à l'agriculture mais s'est élargi à des fonctions écologiques et touristiques et à d'autres services tels que l'écoulement des eaux urbaines (*ibid.*).

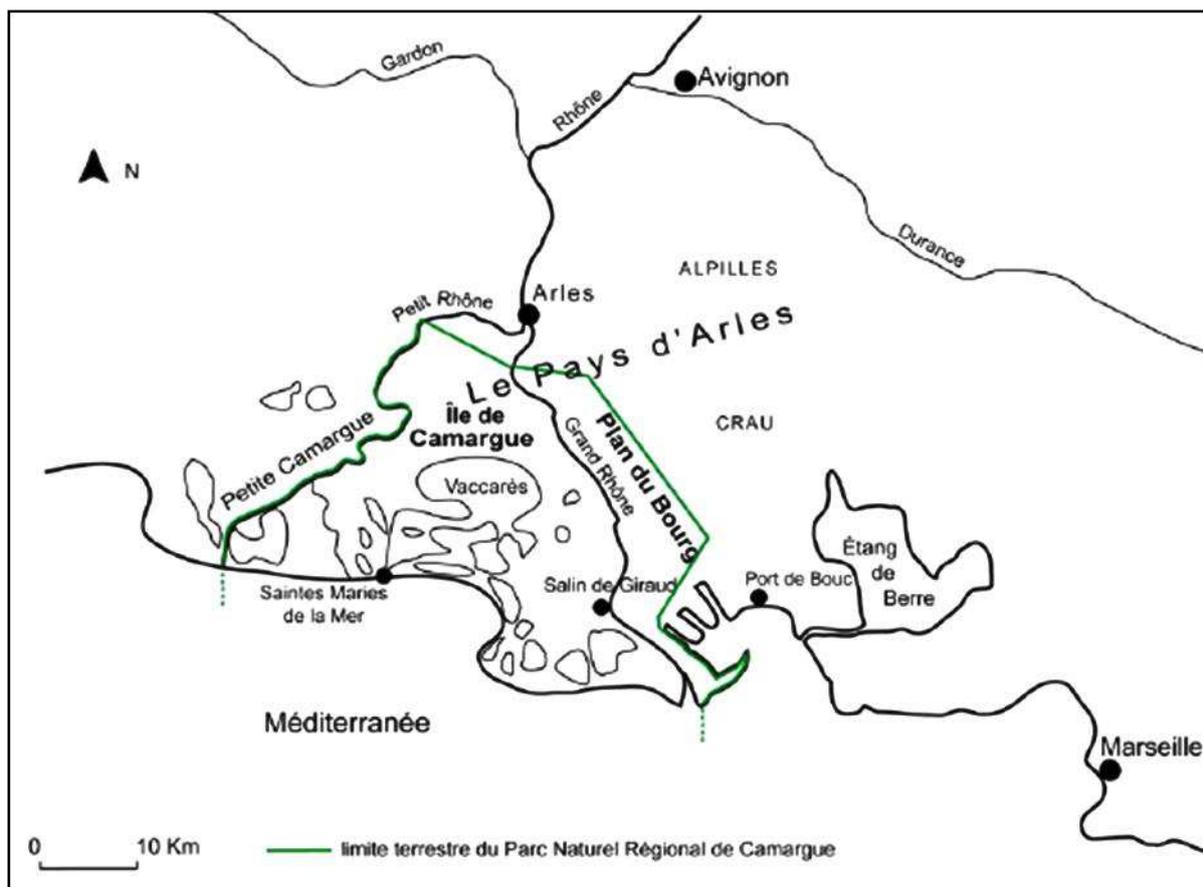


Figure VI-1. Situation générale du terrain d'étude (source : rapport final CAMPLAN, Allouche et al. 2012)

La gestion des entrées et sorties d'eau est d'autant plus complexe que les contraintes liées au niveau de la mer rendent de plus en plus difficile les échanges entre la mer et les étangs, régulés à l'aide des vannes au niveau des pertuis. Une élévation du niveau de la mer, concomitante à la subsidence du delta du Rhône, est observée depuis un siècle. L'élévation est en moyenne de 2,2 mm par an (Brunel et Sabatier 2009). Le niveau marin élevé limite de plus en plus les possibilités de sortie d'eau vers la mer en temps ordinaire et de façon encore plus critique en situation d'aléa climatique tels que lors des précipitations exceptionnelles de novembre 2011, ou encore suite à des inondations par des brèches dans les digues du fleuve Rhône telles qu'en 1993 et 1994 (Allouche *et al.* 2012). Le niveau marin élevé est en effet à l'origine de surcotes provoquant une difficulté croissante à évacuer correctement les eaux agricoles ou de ressuyage, qui impacte les activités et multiplie les risques d'inondations. L'eau ne peut être sortie qu'une soixantaine de jours par an, ce qui vient enrayer le mode de gestion jusqu'alors suivi et rendant nécessaire de s'interroger sur les réponses à apporter pour la gestion hydrologique du système camarguais (*ibid.*).

1.1.2. Une gouvernance complexe et des incertitudes croissantes

La gouvernance est rendue complexe par la diversité des acteurs locaux (exploitants agricoles et éleveurs, associations, pêcheurs, chasseurs, promoteurs immobiliers, habitants...) et des organismes concernés par les diverses problématiques liées à la gestion de l'eau de l'échelle locale à globale (communes, communautés d'agglomérations, syndicats mixtes, Parc Naturel Régional de Camargue, département, Région, et l'Etat, qui doit intégrer les directives européennes). Les aménagements hydrauliques constituent un héritage dont les coûts d'entretiens et de rénovations sont devenus trop importants pour être supportés par les agriculteurs. Il est nécessaire d'adapter ces aménagements et le mode de gestion du système camarguais aux contraintes relatives au changement climatique mais aussi aux nouvelles réglementations nationales et européennes. Ce changement nécessite un ensemble de mesures d'autant plus difficiles à appréhender dans l'actuel foisonnement réglementaire (Directive Cadre sur l'Eau, Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux, Plan Rhône, Contrat de delta, réforme des Associations Syndicales d'Assainissement, etc.) et face au grand nombre d'organismes impliqués (Etat, collectivités, Agence de l'eau, Union Européenne, Associations Syndicales d'Assainissement, Parc de Camargue, Commission exécutive de l'eau, etc.). Les possibilités actuelles de mise en place d'une gestion de l'eau adaptée aux besoins des usages et de la présence humaine en Camargue, semblent atteindre leurs limites (Allouche *et al.* 2011). Les conditions critiques liées à l'impossibilité de gérer les sorties d'eau selon les besoins rendent nécessaire de trouver le moyen de faire évoluer l'organisation et la gestion du territoire, avant qu'elles ne le soient davantage. Face à l'élévation du niveau de la mer, l'installation de nouvelles stations de pompage ou le renforcement des digues ne sauraient garantir la pérennité du système actuel. De plus, les coûts d'entretien de digues existantes nécessiteraient des financements qui ne sont pas disponibles ou difficiles à mobiliser sur des espaces où ne s'exerce actuellement plus d'activité économique, et où les enjeux sont désormais tournés vers la protection écologique (Allouche *et al.* 2012).

Les incertitudes sur la rapidité et l'ampleur de l'élévation du niveau de la mer dans les prochaines décennies et l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements hydroclimatiques extrêmes (crues, sécheresse, etc.) ont conduit le Parc Naturel Régional de Camargue à adopter comme première ambition de sa nouvelle Charte de « Gérer le complexe deltaïque en intégrant les impacts du changement climatique » (Parc Naturel Régional de Camargue 2010). Les gestionnaires se posent la question d'un « espace de liberté » qui pourrait être laissé, dans certains secteurs, aux fluctuations du niveau marin qui apparaissent lors des surcotes (Allouche *et al.* 2012). C'est notamment le cas pour les 6000 ha de salins acquis par le Conservatoire du Littoral en 2009. Cela montre une évolution des représentations chez certains gestionnaires. D'autre part, les effets des mesures agri-environnementales (MAE), qui conduisent à une nouvelle structuration du territoire, sont

méconnus. Il en résulte en effet de nouvelles interactions entre les trois niveaux emboîtés que sont la parcelle (évolution des pratiques), l'exploitation agricole (diversité des systèmes de production) et le paysage (mosaïque écologique) (Mathevet 2004). Mises en place par l'Union européenne, les MAE font de plus l'objet d'incertitudes concernant l'évolution de la Politique Agricole Commune. À cela s'ajoutent les incertitudes liées à la méconnaissance des processus physiques (remontée du biseau salé) et écologiques qui s'inscrivent sur le temps long, en particulier les effets de seuil qui concernent la salinité, l'eutrophisation, la surexploitation d'une ressource. Enfin, des tendances contradictoires rendent difficiles la perception des évolutions et la compréhension des interrelations au sein du système camarguais (Allouche *et al.* 2012) :

- des représentations contradictoires de la nature (un patrimoine à protéger, une ressource à exploiter, un bien réservé à une élite, ou encore un bien commun) ;
- la régression des espaces communaux d'une part, et la réappropriation sociale de la Camargue d'autre part ;
- l'extension des surfaces protégées et la remise en question du statut de territoire protégé par des investisseurs locaux et régionaux ;
- l'évolution du trait de côte, avec des zones d'érosion et des zones d'accrétion ;
- ou encore la perception d'une re-salinisation de l'étang du Vaccarès mais également le développement d'espèces dulçaquicoles.

La complexité du système camarguais et sa difficile appréhension, les limites de son mode de fonctionnement actuel et les incertitudes liées au changement climatique et aux évolutions endogènes comme exogènes, rendent sa gestion hautement complexe. Le programme CAMPLAN vise, dans ce contexte, à mettre en évidence les éléments porteurs de crise et à approfondir la connaissance du fonctionnement du système camarguais afin d'évaluer ses capacités à se maintenir, à se transformer et à s'adapter aux perturbations.

1.2. Un diagnostic de l'adaptabilité construit en interaction avec les chercheurs du programme CAMPLAN

1.2.1. Positionnement théorique et opérationnel : soutenir l'adaptabilité du système afin de favoriser sa résilience

L'analyse du système territorial camarguais montre que celui-ci est confronté à des perturbations, aussi bien externes qu'internes, et de toutes natures. Le système évolue selon sa manière de réagir à ces perturbations : soit il s'adapte (la perturbation est intégrée au fonctionnement du système par le biais d'ajustements), soit il résiste (la perturbation n'est pas intégrée dans le fonctionnement du système et la structure existante est éventuellement

renforcée afin d'en contrer les effets négatifs). L'adaptation reflète une certaine souplesse dans le fonctionnement du système tandis que les stratégies de résistance, telle que la construction d'ouvrages de défense contre la mer, se traduisent plutôt par une rigidification.

Dans le domaine de l'écologie, la capacité d'adaptation est conçue comme la capacité collective des acteurs humains à gérer la résilience d'un système socio-écologique (Walker *et al.* 2004). La notion de gestion adaptative est ainsi reliée, dans le champ de la systémique et de la complexité, à celle de résilience. La notion de résilience est envisagée ici selon la définition de Holling (1996) comme « capacité d'un système à pouvoir intégrer dans son fonctionnement une perturbation, sans pour autant changer de structure qualitative ». Elle est différente du temps de retour à l'équilibre d'un système après une perturbation. En effet, c'est une conception positive et créatrice de la résilience, où le système, adaptant sa structure au changement, conserve la même trajectoire après une perturbation (Aschan-Leygonie 2000). La résilience est une manifestation de processus complexes de réponse à des changements. En tant que capacité d'un système à faire face aux perturbations et à assurer son maintien, c'est un enjeu crucial en situation de changement et notamment lors de crise. L'adaptabilité d'un système est par essence un facteur primordial de la résilience (*ibid.*) puisque les capacités d'adaptation sont indispensables à la mise en place de comportements adaptatifs, qui vont pouvoir intégrer le changement dans le fonctionnement du système.

C. Aschan-Leygonie (2000) montre la possibilité de transposer en géographie le concept de résilience afin de mieux comprendre les conditions de maintien et d'évolution d'un système spatial. Dans le cadre de réflexions théoriques étayées par des exemples concrets, elle met en lumière un ensemble de critères de résilience des systèmes spatiaux. Selon l'auteur (*ibid.*), le système spatial agit sur la capacité de résilience par le biais de trois caractéristiques systémiques : l'instabilité, l'adaptabilité et la diversité. L'auteur met en valeur le rôle de la trajectoire et de la complexité du système, l'influence du type de perturbation rencontré, et le rôle des acteurs (innovation, apprentissage par le passé) dans l'adaptabilité du système. La prise en compte spécifique de systèmes spatiaux nécessite de « centrer le travail sur le rôle des structures, des interactions spatiales et de l'environnement du système lorsqu'il est affecté par une perturbation » (*ibid.*).

Face à la complexité du fonctionnement des systèmes et des processus conduisant à leur résilience, l'analyse des éléments favorables et défavorables à l'adaptation d'un système territorial nous paraît être une entrée opérationnelle dans l'étude de la réactivité de ce système au changement. En effet, elle permet d'identifier les leviers et freins pour renforcer l'adaptabilité et potentiellement sa résilience. Le but de cette partie est ainsi de repérer les éléments entrant en jeu dans l'adaptabilité du système camarguais actuel. Cette connaissance permet d'appréhender le fonctionnement du territoire camarguais

et, **considérant la nécessité de soutenir les capacités d'adaptation du système afin de favoriser sa résilience**, elle revêt une utilité prospective pour la gestion du système par l'identification des facteurs d'adaptabilité et de non-adaptabilité. **L'objectif est d'identifier les éléments existants qui favorisent l'adaptabilité et qu'il convient de préserver voire de renforcer, mais aussi les éléments de blocages limitant l'adaptabilité et qui pourraient constituer des freins à une adaptation dans l'avenir.**

1.2.2. Construction d'une grille de critères de l'adaptabilité territoriale et analyse systémique des éléments du système camarguais caractérisant ces critères

L'identification des enjeux de l'adaptabilité du système camarguais a demandé la mise en place d'une démarche de plusieurs étapes, avec l'objectif de rassembler et croiser les recherches des différents volets (Figure VI-2). À partir du cadre théorique de la résilience des systèmes (Holling 1973, 1986 ; Aschan-Leygonie 1998), nous avons construit une « grille de lecture » de l'adaptabilité. Cette grille se base sur les hypothèses relatives aux critères de résilience des systèmes spatiaux formulés par C. Aschan-Leygonie (Aschan-Leygonie 2000), transposées pour l'analyse de l'adaptabilité des systèmes territoriaux. Cette grille de lecture, répertoriant un ensemble de critères jouant sur l'adaptabilité, permet d'analyser les travaux des différents volets avec les chercheurs concernés. Les différentes catégories de la grille de lecture sont :

- la **perception des acteurs** (discours sur le fonctionnement du système, les incertitudes et les risques) ;
- le **rôle des acteurs dans l'adaptabilité** (comportements, diffusion de l'information, vitesse de réaction et de réponse des acteurs, complémentarité des réponses : résistance, abandon, adaptation) ;
- l'**apprentissage par le passé** (mémoires individuelles et collectives, anticipation) ;
- la **nature de la dynamique du système** (stabilité, instabilité de la trajectoire) ;
- la **diversification du système** (spécialisations, uniformité, polyvalence) ;
- les **interactions entre entités spatiales** (complexité, cohésion et rigidification, relations d'échange) ;
- l'**existence de sous-systèmes** (noyaux structurants, nœuds, relations noyaux-marges) ;
- l'**organisation spatiale actuelle et héritée** (inerties, contraintes et libertés).

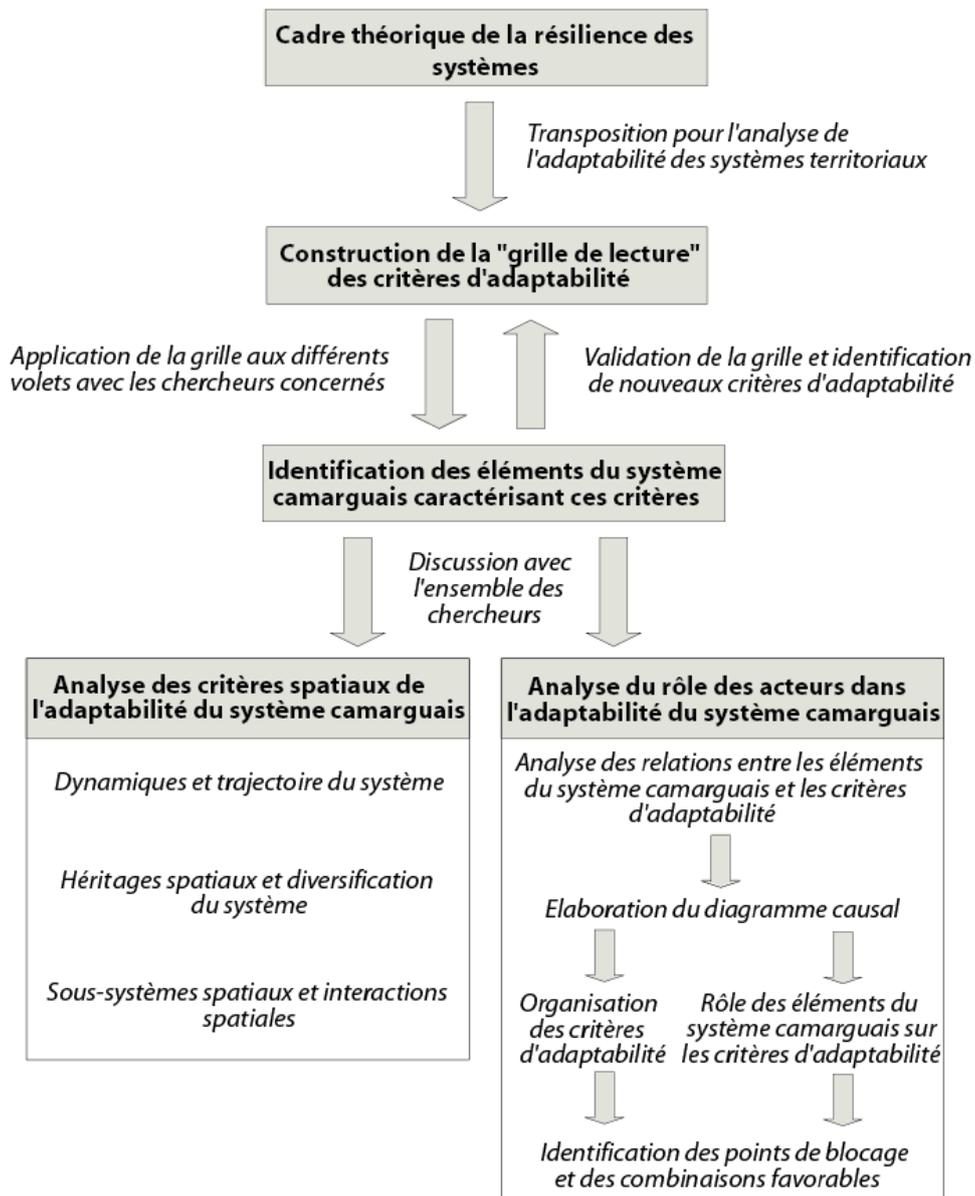


Figure VI-2. Démarche mise en place pour l'analyse de l'adaptabilité du système camarguais

De nombreux éléments du système camarguais agissant en faveur ou défaveur des critères d'adaptabilité ont été identifiés à partir d'échanges avec les chercheurs du programme CAMPLAN. Ces échanges ont pris différentes formes : réunions de travail pour l'avancement du programme de recherche, puis grille sous forme de tableur à remplir par chaque chercheur, et enfin une journée organisée le 6 mai 2011 à l'UMR ESPACE Nice consacrée à une discussion commune autour des connaissances rassemblées. Tout au long du processus, des questionnements apparaissent et donnent lieu à discussion au sein de l'équipe. Les chercheurs sont également interrogés sur l'existence d'autres critères intervenant dans l'adaptabilité et de questions entrant « en résonance » avec cette problématique, afin de faire émerger de nouveaux éléments. De la confrontation des éléments identifiés naît la nécessité d'affiner le contenu de certains critères, qui font l'objet de recherches complémentaires, et d'approfondir

la connaissance de certaines interactions. De nouveaux critères d'adaptabilité ont émergé de ces analyses et sont venus compléter la grille de lecture, concernant le rôle des acteurs dans l'adaptabilité :

- la *diffusion de l'information* (qualité, dispersion, canaux) ;
- l'*assimilation et appropriation de l'information* (réutilisation par les différents acteurs) ;
- la *gestion concertée* (participation des différents acteurs, partage de la prise de décision) ;
- les *idées nouvelles* (possibilité d'émergence) ;
- le *comportement novateur des acteurs* (comportements pionniers, réactionnaires) ;
- la *connaissance du système* (compréhension du fonctionnement des composantes et de leurs relations) ;
- l'*intégration et acceptation des risques naturels et anthropiques* (acceptation, maîtrise, laisser faire) ;
- les *mémoires individuelles et collectives* (expérience passée et sa mobilisation présente) ;
- les *savoirs et pratiques vernaculaires* (existence d'une connaissance empirique et de traditions dans les modes de gestion) ;
- l'*expérience d'évènements passés* (discours sur l'évolution du système) ;
- la *mobilisation de différentes formes de savoirs* (vernaculaire, scientifique) ;
- les *modalités des échanges* (lieux d'échange, conditions, acteurs présents).

Nous avons choisi de séparer l'analyse des critères spatiaux dans l'adaptabilité du système de l'analyse des critères relatifs au rôle des acteurs pour lesquels les échanges ont ainsi été particulièrement riches (Figure VI-2). Face au nombre de critères d'adaptabilité identifiés concernant le rôle des acteurs et à leurs interrelations, une analyse systémique a permis de mettre de l'ordre dans l'analyse de ces critères et de leurs relations avec les éléments qui les caractérisent au sein du système camarguais. L'analyse des relations entre les critères d'adaptabilité et les éléments du système camarguais qui s'y rapportent s'est faite par la mise en place d'un diagramme causal. Son utilité est double : d'une part, il révèle l'organisation des critères d'adaptabilité relatifs au rôle des acteurs, c'est-à-dire le chaînage des facteurs en direction de l'adaptabilité ; d'autre part, il permet ensuite de caractériser la portée de ces facteurs à partir de leur position et des éléments du système camarguais qui viennent renforcer ou contraindre leur rôle. Sa finalité est d'identifier les points de blocage et les éléments favorables à l'adaptabilité du système.

Les critères spatiaux de l'adaptabilité du système camarguais correspondent aux caractéristiques du système spatial qui, par leur structure et le fonctionnement qu'ils induisent, vont jouer de différentes manières sur son adaptabilité. Ces critères sont regroupés en trois parties : d'une part, les dynamiques du système, qui caractérisent sa trajectoire (stabilité/instabilité) et contribuent ainsi à définir sa réactivité face à une perturbation ; d'autre part, les héritages spatiaux et la diversification du système, qui peuvent être des freins pour

l'adaptation ou au contraire la faciliter ; et enfin les sous-systèmes spatiaux et les interactions spatiales, qui traduisent l'organisation du système et ses échanges et définissent ainsi ses capacités de régulation ou encore sa cohésion lors d'une perturbation.

Conclusion

L'analyse de l'adaptabilité du système camarguais est basée sur les travaux des chercheurs de l'ensemble du groupe CAMPLAN et les sessions d'échanges qui ont été tenues dans ce cadre. L'orientation des discussions et des recherches des différents chercheurs ont ainsi pu favoriser certains axes d'analyse de l'adaptabilité du système, en l'occurrence la partie acteurs et gouvernance. Il demeure néanmoins qu'elles fournissent une information dense et pluridisciplinaire sur le fonctionnement du système et permettent une entrée concrète dans la problématique complexe de l'adaptabilité à travers le croisement de connaissances. La construction de la grille de lecture de l'adaptabilité et le rassemblement des connaissances caractérisant l'adaptabilité du système camarguais ont été caractérisés par des « allers-retours » pour compléter la grille de lecture. De même, le remplissage de la grille par les chercheurs s'est fait de manière itérative, de nouveaux éléments émergents suite aux discussions étant progressivement collectivement discutés et intégrés.

2. Analyses et résultats du diagnostic de l'adaptabilité du système camarguais

Cette section présente les éléments résultants du diagnostic, concernant tout d'abord les critères spatiaux de l'adaptabilité du système camarguais, puis les critères relatifs au rôle des acteurs et à la gouvernance. C'est dans ce second volet que l'analyse systémique a été développée face à l'ampleur et la complexité des connaissances rassemblées. Elle permet d'identifier les interrelations entre les éléments favorables et défavorables à l'adaptabilité et ouvre ainsi des pistes opérationnelles.

2.1. Analyse des critères spatiaux de l'adaptabilité du système camarguais

Nous proposons ici une lecture transversale des éléments identifiés lors des sessions d'échanges avec les membres de CAMPLAN, à partir des cinq critères spatiaux identifiés dans la grille d'adaptabilité (nature de la dynamique du système ; diversification du système ; interactions entre entités spatiales ; existence de sous-systèmes ; organisation spatiale actuelle et héritée). Nous montrons que leur rôle dans l'adaptabilité du système est complexe car dépendant d'une combinaison de facteurs. La caractérisation de ces critères pour le système camarguais permet néanmoins d'identifier les éléments faisant enjeu dans l'adaptabilité du système.

2.1.1. Nature des dynamiques du système

L'instabilité d'un système traduit généralement une capacité à intégrer des perturbations dans son fonctionnement. Elle correspond ainsi à une bonne capacité d'adaptation, le système étant capable de fluctuer tout en maintenant son équilibre, sa structure qualitative. Néanmoins, une trajectoire instable correspond à un grand nombre d'évolutions possibles, certaines pouvant provoquer le remplacement du système par un autre. L'adaptation se traduit alors par une bifurcation dans la trajectoire du système, sa structure qualitative est modifiée.

La trajectoire du système camarguais est caractérisée par la présence de multiples dynamiques relatives à l'évolution du delta, à la variabilité du niveau d'eau ou encore aux activités présentes et à leurs occupations du sol. La question de la stabilité et de l'instabilité de ces dynamiques est relative aux échelles temporelles envisagées. Un delta est un système instable du point de vue géomorphologique sur le long terme, fonction de l'évolution des forçages (fleuve, mer). L'endiguement tel qu'il a été réalisé en Camargue a cependant créé

l'illusion d'une stabilité, en donnant une relative maîtrise de la gestion hydraulique. Les aménagements hydrauliques ont permis d'inverser l'hydrologie du delta, par son remplissage au printemps et en été, et un assèchement des rizières et des salins en hiver. L'artificialisation du système hydraulique a paradoxalement contribué à son instabilité à plus court terme : les aménagements hydrauliques créés pour stabiliser le système au niveau de l'accès à la ressource en eau entraînent des changements qui n'étaient pas prévus. Les modifications d'humidité, de salinité, de qualité et de niveau d'eau dans un espace perturbent les activités et l'environnement proches. Avec la digue à la mer construite pour protéger les terres des intrusions marines, les échanges entre la mer et l'intérieur des terres ne se font qu'au travers des pertuis. L'ouverture des vannes induit des mouvements d'eau contraires selon les vents et les niveaux d'eau. L'augmentation du niveau marin et les faibles capacités d'évacuation des pertuis limitent les possibilités de ressuyage. Avec des conditions de forçage d'instabilité croissante, il n'est pas toujours possible d'évacuer l'eau lorsqu'on le souhaite, ce qui aboutit à la mise en place de stratégies d'anticipation (en vidant l'eau dès que cela est possible afin de réduire le risque d'inondation) qui peuvent contraindre certains usages.

En outre, le mauvais ressuyage des terres impacte la production de blé et conduit les agriculteurs à accroître la production de riz à la saison venue afin de compenser ces pertes. Ils augmentent ainsi les volumes d'eau rejetés dans le Vaccarès, ce qui conduit à une rétroaction négative sur la production de blé. Les difficultés de ressuyage favorisent les risques d'inondation et rendent difficile le maintien des différents usages du territoire (agriculture, pêche, chasse, élevage, coupe du roseau, etc.), qui présentent des besoins différents en eau en termes de salinité, de saisonnalité, de quantité et de qualité, parfois peu aisés à concilier. La riziculture définit les périodes de distribution de l'eau dans le réseau et conditionne ainsi l'inondation des marais utilisés pour la chasse, des étangs où s'opère la protection des oiseaux, et des pâturages. Il semble néanmoins que l'on constate, à l'échelle des deux dernières décennies, une relative stabilité dans ces usages.

Si l'instabilité des dynamiques de diverses natures du delta camarguais semble traduire des capacités de réactivité et d'adaptation, les tensions croissantes affectant le système pourraient toutefois amener à des mutations plus profondes. Ces tensions sont liées à l'augmentation du niveau marin, aux difficultés de ressuyage du Vaccarès vers la mer, à la rupture de défenses contre la mer, ou encore à l'érosion de la digue à la mer. L'instabilité des conditions de forçage rend difficile la maîtrise des niveaux d'eau. À l'heure actuelle, la gestion du système se fait en cherchant à maintenir son fonctionnement présent, par exemple en envisageant d'élargir certains pertuis. Néanmoins, d'autres options semblent émerger, comme le fait de revenir à des dynamiques plus naturelles en abandonnant l'entretien de certaines digues. Les évolutions fines, parfois réversibles, peuvent en outre nuire à la perception de la trajectoire sur le temps long.

2.1.2. Héritages spatiaux et diversification du système

En termes d'adaptabilité, les héritages spatiaux peuvent constituer des obstacles ou des possibilités de changement. Ils peuvent favoriser l'inertie du système, ou au contraire fournir des conditions favorables à son évolution. Le système de digues et le réseau hydraulique, créés à la fin du XIX^e siècle, constituent un héritage lourd par les contraintes qu'ils impliquent. En effet, ils correspondent à une logique de protection totale à travers une maîtrise technique qui va à l'encontre d'une gestion adaptative intégrant mieux le fonctionnement deltaïque naturel. De plus, le financement de l'entretien des digues pose problème. Il est proportionnellement plus cher qu'avant, du fait de normes plus élevées et l'augmentation du prix de la main d'œuvre, et les associations qui en finançaient une part sont désormais insolvables. Le coût de l'entretien des digues contribue à la remise en cause de cet héritage.

La situation des Saintes-Maries-de-la-Mer constitue également un héritage fortement contraignant et dont on peut difficilement se défaire. L'implantation géographique de la ville, bloquée entre le Vaccarès pouvant déborder en cas de crue du Rhône et la mer qui ne cesse d'éroder le littoral, est déterminante dans les positions prises par ses élus. La protection de leur territoire, des biens et des personnes sur cet espace à risque pèse considérablement sur la gestion de l'eau à l'échelle du Parc Naturel de Camargue, parfois en l'enrayant. Les stratégies de retrait de l'urbanisation vers l'intérieur des littoraux sont socialement difficiles à envisager et à accepter, même après une catastrophe, comme l'a montré la tempête Xynthia en 2010.

La grande propriété a amené à une structuration de l'espace en grands domaines insécables. Ces domaines, en limitant l'émiettement de l'espace, permettent une certaine cohésion et la mise en œuvre de projets et semblent ainsi jouer de manière favorable dans l'adaptabilité du territoire.

Le niveau de diversification du système joue quant à lui généralement en faveur de son adaptabilité, en lui conférant une certaine flexibilité qui réduit sa sensibilité aux perturbations. Le système camarguais apparaît comme diversifié tant du point de vue des activités anthropiques que des milieux naturels. Au niveau agricole, l'alternance des cultures en riz et en blé permet aux agriculteurs de s'adapter à la fois à des problèmes internes (salinité impactant la production de blé, enherbement des surfaces en riz) et à des facteurs externes (prix du marché, conditions des subventions versées par la PAC aux agriculteurs). Cette flexibilité favorise l'adaptabilité de la céréaliculture camarguaise mais sa dépendance aux marchés extérieurs et aux réformes à venir de la PAC rend difficile une évaluation de son devenir. Les possibilités de diversification agricole sont limitées, surtout dans les parties les plus basses du delta, à cause de la salinité des sols et du confinement hydraulique, l'eau entrant sur les parcelles devant être pompée pour être évacuée. Une mise en culture du coton serait par exemple néfaste pour les habitats naturels. À long terme, une déprise de la culture

céréalière pourrait néanmoins favoriser une augmentation de l'élevage extensif et l'écotourisme peut encore croître. La reconversion des anciens salins témoigne d'évolutions en cours.

La diversité du système camarguais permet une certaine souplesse face aux perturbations mais le maintien des différents usages pose cependant problème du fait de leur concurrence vis-à-vis de la gestion de l'eau. Les rejets d'effluents rizicoles posent par exemple des problèmes de pollution et d'eutrophisation dans le Vaccarès. Ce maintien des différents usages est toutefois le principe retenu dans la gouvernance locale, ce qui en fait un point sensible pour la gestion du territoire.

2.1.3. Existence de sous-systèmes spatiaux et interactions spatiales

Les sous-systèmes spatiaux et les interactions spatiales sont garants de la cohésion du système et jouent ainsi un rôle dans la réponse du système lors d'une perturbation. Ils peuvent ainsi favoriser l'adaptabilité du système. Les deux entités spatiales constituant notre terrain d'étude, le Plan-du-Bourg et l'Ile de Camargue, interagissent peu entre elles. L'étang du Vaccarès constitue néanmoins un noyau structurant pour l'Ile de Camargue puisque c'est en fonction de la position relative au Vaccarès que s'organisent les échanges et les activités des espaces alentours, avec les bassins poldérisés et non-poldérisés, ou encore entre l'amont et l'aval, qui forment des sous-systèmes spatiaux. C'est d'ailleurs aux marges du Vaccarès que l'on peut trouver une logique spatiale de changement d'occupation du sol, avec des mutations d'espaces agricoles à naturels. Les autres changements d'affectation sont dispersés et limités en superficie. Les exutoires des canaux de drainage constituent des nœuds en termes d'échanges hydrauliques. En Ile-de-Camargue, le principal nœud hydraulique gravitaire est le pertuis de la Fourcade, bientôt renforcé par des exutoires recalibrés à la Comtesse et vers les salins au niveau des étangs de Galabert et du Fangassier (cf. Annexe 3). Au niveau du Plan-du-Bourg, les relations hydrauliques entre amont et aval structurent également l'espace. Les marais des Baux constituent l'exutoire naturel du drainage d'une partie importante du bassin versant sud des Alpilles. Au niveau hydrologique, le territoire connecté au marais englobe une partie du bassin versant de la basse Durance (système amont), jusqu'à l'exutoire final de l'ensemble du système : le barrage anti-sel de Fos-sur-Mer sur le Canal d'Arles à Bouc (système aval). Les interactions hydrauliques existent également avec le canal du Vigueirat et le système d'irrigation de la Crau. Le barrage anti-sel constitue un « verrou hydraulique », rompant les échanges avec la mer.

Le delta de la Camargue constitue un ensemble particulièrement complexe au regard des différents territoires qui apparaissent comme fortement segmentés du point de vue de leur gestion et des couches administratives qui le composent.

Finalement, le système spatial est à la fois complexe et cohérent, mais il est extrêmement cloisonné. Ce cloisonnement est lié aux choix anthropiques et se matérialise au travers du réseau de digues et de canaux qui marquent spatialement l'emprise de l'Homme et viennent limiter les échanges entre des milieux hydrologiquement dépendants. Le milieu peut changer radicalement et en quelques mètres seulement. Il est ainsi possible de trouver juxtaposés un milieu doux et un milieu salé que seule une digue sépare, avec des échanges quasi-inexistants. En terme d'adaptabilité de l'ensemble du système, la gestion de l'eau ne peut donc se résumer à une action localisée sur des vannes d'un pertuis à la mer mais nécessite la prise en compte de l'amont et de l'aval, afin que les diverses problématiques (risque, biodiversité, élévation du niveau de la mer, etc.) soient intégrées en amont.

2.2. Analyse du rôle des acteurs dans l'adaptabilité du système camarguais

Le rôle des acteurs dans l'adaptabilité du système se décline en de nombreux critères (perception des acteurs, apprentissage par le passé, diffusion de l'information, assimilation et appropriation de l'information, gestion concertée, idées nouvelles, comportement novateur des acteurs, connaissance du système, intégration et acceptation des risques naturels et anthropiques, mémoires individuelles et collectives, savoirs et pratiques vernaculaires, expérience d'évènements passés, mobilisation de différentes formes de savoirs, modalités des échanges). Ces critères et leurs relations sont analysés à travers une approche systémique où sont identifiés et positionnés les éléments du système camarguais qui y exercent leur influence. Ce diagramme causal résulte des discussions entre chercheurs du groupe CAMPLAN et permet d'identifier les enjeux pour l'adaptabilité dans le rôle des acteurs.

2.2.1. Identification des éléments du système camarguais jouant sur les critères d'adaptabilité et de leurs relations : élaboration du diagramme causal

À partir de l'application de la grille de lecture, les éléments du système camarguais jouant sur les critères d'adaptabilité et leurs relations sont identifiés. Le diagramme causal permet de rassembler et d'organiser les composantes de l'adaptabilité, qu'il s'agisse des critères d'adaptabilité ou des éléments du système camarguais venant alimenter ou limiter leur rôle. Le diagramme causal est construit à l'aide du logiciel *Decision Explorer 3.1.1*, développé par Banxia Software. Cet outil facilite l'analyse de systèmes créés par des concepts et des liens unissant ces concepts en se basant sur leur topographie, c'est-à-dire sur la structure formée par les relations entre concepts. Nous avons d'ailleurs utilisé la fonction *Cluster* afin de faciliter la lecture de notre diagramme causal (Figure VI-3 et Figure VI-4). Sa taille ne permet pas une représentation sur une page, mais la fonction *Cluster* a permis d'identifier les groupes de concepts fortement reliés et ainsi de diviser en deux parties le diagramme causal. Les relations entre une composante de la partie 1 et une composante de la

partie 2 sont représentées par des têtes et queues de flèches assorties du numéro correspondant à l'élément relié. Chaque composante est en effet dotée d'un numéro identifiant (Tableau 46. Liste des éléments du diagramme causal et numéros identifiants). Nous avons en outre rajouté manuellement les quelques éléments qui n'avaient été retenus pour aucune des deux parties, ainsi que des éléments qui sont importants pour la lecture des deux parties du fait de leur grand nombre de relations au sein de chaque cluster. Deux styles de composantes ont été créés : en rouge les critères d'adaptabilité, et en bleu les éléments du système camarguais venant les caractériser. Les relations entre les composantes sont de nature causale, elles peuvent être positives ou négatives.

La première partie (ou cluster) du système (Figure VI-3) est axée sur les facteurs qui vont jouer en faveur ou aller à l'encontre d'une « bonne » connaissance du système par les acteurs et d'une perception partagée de ses risques et évolutions. La capacité d'intervention sur un système nécessite en effet une connaissance de son fonctionnement et un partage du constat sur les actions à mener, dans le cadre d'une gestion concertée. La seconde partie (Figure VI-4) est axée sur les éléments qui vont jouer dans l'acceptation et l'intégration des risques et des changements, et notamment les conditions de mise en place de cette gestion concertée.

Au cœur de la première partie du système (Figure VI-3) se trouve la **diffusion des connaissances** (1), condition nécessaire à leur **assimilation par les différents acteurs du système** (2) et à la **mobilisation de différentes formes de savoirs** (10). Sur notre terrain d'étude, la diffusion de l'information (1) se traduit par des disparités puisqu'alors que les données sont partagées au niveau de la Camargue (17), des manquements existent dans le secteur du Plan-du-Bourg, notamment concernant la gestion des vannes du barrage antisel sur le canal d'Arles à Fos-sur-Mer par le Grand Port Maritime de Marseille (46). Les **échanges entre acteurs** (9), et notamment l'interdépendance des associations (16), favorisent une meilleure transparence (17) et la **circulation des informations** (1). Cette diffusion permet la mobilisation de différentes formes de savoirs (10). Elles résultent, au niveau scientifique et technique, de la réalisation d'études (35) par les différentes instances en présence. Le SYMADREM est ainsi chargé d'une étude de propagation de la crue et le Parc Naturel Régional de Camargue (PNRC) réalise une étude sur le ressuyage de crue. Cependant, des données ont été perdues lors de crises passées (14), ce qui soulève la question de leur stockage et conservation. Une connaissance vernaculaire résulte quant à elle de l'existence de **mémoires individuelles et collectives** (7), liées aux **expériences d'évènements passés** (6) et aux **échanges entre acteurs** (9). La mémoire des inondations passées est cependant de courte durée (33) : la référence à des inondations concerne celles des deux dernières décennies, et non celle de 1951, pourtant plus importante. Non seulement ces évènements sont plus proches temporellement, mais le risque inondation était passé en arrière-plan entre 1960

et 1993, les problèmes alors rencontrés étant plutôt liés aux remontées de sel et aux mutations économiques européennes. Les **mémoires individuelles et collectives** (7) se cristallisent dans **des savoirs et des pratiques vernaculaires** (8) de gestion du système et de sa variabilité. Ainsi, les pêcheurs savent gérer les entrées d'eau de mer de manière à favoriser la présence de certaines espèces de poissons par le maintien d'un certain taux de salinité. Ces **savoirs et pratiques vernaculaires** (8) peuvent favoriser de **nouvelles idées pour la gestion du système** (11), comme le montre le rétablissement du pertuis à la mer de Comtesse au sein du système du Vaccarès à la demande de la Commission Exécutive De l'Eau (CEDE). S'il ne permet pas d'augmenter les capacités d'évacuation à la mer en condition normale, il permet néanmoins d'accroître un peu et dans certaines conditions le transit halieutique dans le Vaccarès, diversifiant ainsi les modes d'actions disponibles pour essayer de satisfaire les usages en présence. Ce pertuis peut également, pour certains aléas hydrauliques, jouer dans la réduction des niveaux de l'étang. L'innovation en Camargue s'inspire ainsi parfois des modes de fonctionnement passés, que cela soit par la restauration d'un pertuis, la reprise des rotations culturelles, ou le rétablissement d'une complémentarité entre élevage et culture.

La **mobilisation de différentes formes de savoirs** (10) est nécessaire à une **connaissance large du fonctionnement du système** (3). Cependant, si des visions globales du système existent, avec par exemple la vision technique du SYMADREM (Syndicat Mixte d'Aménagement des Dignes du Rhône et de la Mer), la gestion du système manque de visions transversales (39). D'autre part, les limites de la diffusion des connaissances (1), c'est-à-dire le non-partage de certaines données (46) et le manque d'échanges entre acteurs (9), font que ces savoirs variés ne sont pas toujours mobilisés (10). C'est ce que montre la méconnaissance des systèmes de vannes sécurisées à Plan-du-Bourg, qui pourraient constituer une solution pour permettre des entrées et sorties d'eau vers le Grand Rhône en évitant toutes manipulations intempestives. Cet exemple soulève également la question de l'assimilation des connaissances existantes sur le système. En effet, l'**assimilation des connaissances** (2) dépend de leur **diffusion** (1), mais même lorsque l'information est disponible, celle-ci n'est pas toujours intégrée par les acteurs. C'est ce que montre la non-prise en compte dans les CEDE de certains phénomènes comme l'introduction d'une eau de mer diluée par une eau polluée au niveau de la Fourcade, soulevant des risques d'eutrophisation de l'étang de l'Impérial.

Les incertitudes dans le fonctionnement du système (18) favorisent en outre une forte subjectivité dans la connaissance du système, avec l'existence d'opinions et de croyances diverses (19). Ces incertitudes sont inhérentes aux systèmes complexes, c'est-à-dire caractérisés par un nombre important d'éléments en interaction. L'existence de points de vue subjectifs et contrastés va à l'encontre d'une ratification collective des connaissances (29) et de l'**assimilation des connaissances par l'ensemble des acteurs** (2). Certains acteurs du territoire camarguais pensent par exemple qu'il est possible de maîtriser les débordements, en

gérant l'exutoire du Vaccarès selon la règle des « trois vingt »⁵³, mais ce n'est pas le cas des gestionnaires et de l'expert-hydrologue qui considèrent cette règle comme invalide, qu'il n'est pas possible de maîtriser ce risque et que leur gestion est par conséquent optimale. Cette divergence (19) défavorise la possibilité d'un consensus dans la gestion du territoire (29) et tend à se maintenir en l'absence de nouvelles connaissances. Elle peut être à l'origine d'une incompréhension entre acteurs du territoire camarguais et impacter leurs échanges (9). Les connaissances, considérées comme incertaines, sont assimilées de façon partielle et variable (2). Les acteurs empruntent au champ de l'expertise des informations dont ils évaluent la solidité et l'utilité au regard de ce qu'ils connaissent du terrain (10), et les utilisent ou non (2) en fonction de leurs intérêts (28).

Des intérêts variés (28) entrent en effet en jeu dans la manipulation des vannes de la digue à la mer (gestion des risques, agriculture, pêche, protection de la nature). La nature des conflits entre usagers de l'eau concerne en premier lieu les questions de salinité et de qualité de l'eau (eau douce pour l'agriculture, saumâtre pour certains milieux naturels, salée pour la saliculture, problème des engrais et des polluants pour la protection des milieux naturels). La saisonnalité des besoins fait également l'objet de divergences d'intérêts : les besoins d'eau pour le riz et les salins se font au printemps et en été, à l'inverse d'autres usages. L'hydrologie du delta est inversée par rapport à celle du régime naturel, posant problème pour la conservation de la faune et la flore. Enfin la quantité d'eau diffère d'une activité à une autre (chasse, élevage, coupe du roseau, riziculture) et soulève la question des variations du niveau d'eau. La présence d'un garde chargé d'assurer la surveillance et les opérations d'ouverture et de fermeture des vannes montre d'ailleurs qu'il s'agit d'un enjeu fort, pouvant générer des conflits (9). Cette situation nécessite un dialogue entre acteurs (9), qui est animé par la CEDE et au sein du PNRC par la Commission Gestion de l'eau et des milieux du Parc (CGO). Ces divergences d'intérêt (28), si elles fondent la nécessité d'une gestion concertée, la rendent par conséquent hautement complexe, et peuvent favoriser un maintien en l'état et limiter l'innovation (12).

La subjectivité des acteurs dans la connaissance du système (19) agit aussi en défaveur d'une **perception partagée des perturbations et des changements** (4). Les perceptions des évolutions et des risques, de leurs causes et de leurs enjeux, sont diverses, faites d'illusions, d'espoirs et d'inquiétudes. Alors que les enjeux relatifs à la gestion de l'eau sont bien perçus, avec la modification des cycles saisonniers par les aléas climatiques et les choix anthropiques, les endiguements créent une illusion de stabilité (19) et limitent la perception du risque d'inondation (4). Les incertitudes dans l'évolution du territoire (18) viennent troubler l'appréhension (4) et la connaissance (3) du système chez la plupart des acteurs qu'ils soient exploitants, habitants, gestionnaires ou simples usagers. La corporation agricole s'inquiète

⁵³ Celle-ci suppose de maintenir la variation des niveaux de l'étang du Vaccarès entre -20cm et +20cm NGF en visant à conserver une salinité avoisinant les 20g/l.

ainsi des conséquences de l'évolution de la PAC après 2013. Les modifications relatives aux Associations Syndicales d'Assainissement (ASA) suscitent à la fois espoirs et doutes (révision des statuts et du périmètre syndical). Les ASA sont parfois considérées comme une des causes de l'instabilité du système, par exemple du fait de leur mise en sommeil ou de leur manque de moyens financiers rendant leur avenir incertain. Les projets actuellement menés, autour du canal de drainage du Fumemorte (dans le cadre du Contrat de delta) et sur la reconnexion hydraulique relative à la mutation des territoires des salins acquis par le Conservatoire du Littoral, éveillent également de grandes sources d'interrogation sur l'avenir (19) qui ne facilitent pas l'appréhension de l'évolution du système (4). La connaissance incertaine (18) de l'évolution du système et sa complexité, avec des rétroactions mal perçues (4), limitent actuellement le développement d'idées nouvelles (11).

Les perceptions du système peuvent être très contrastées, voire même opposées, par exemple concernant le niveau d'eau du Vaccarès : son niveau trop haut apparaît dans les Forums de l'eau comme étant le problème majeur du système, alors que les pêcheurs des étangs en ont une perception inverse et ont plutôt tendance à souligner les risques liés aux basses eaux et à la salinisation. Il est difficile d'intégrer ces vues contraires dans une gestion globale des risques naturels et anthropiques. Une perception partagée des risques et des changements (4) est en effet nécessaire à **leur acceptation et leur intégration** (5) dans le cadre d'une gestion concertée (Figure VI-4). Cependant, la perception des risques (4) ne correspond pas toujours à leur prise en compte dans la gestion du système (5). En effet, les enjeux sont parfois trop forts pour que le risque soit pleinement accepté (26) et conduisent parfois à des comportements de résistance (27) comme le renforcement de digues. Ainsi, certains élus de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer perçoivent le risque de débordement du Vaccarès comme très fort, allant jusqu'à parler de celui-ci comme d'une épée de Damoclès. Ces élus argumentent en faveur d'une poldérisation pour diminuer les volumes des effluents rizicoles remplissant le Vaccarès et favorisant son débordement. Du côté du Plan-du-Bourg, les risques d'inondations par les canaux du Vigueirat et d'Arles à Bouc sont clairement perçus et peu acceptés. L'acceptation des risques (5) est soumise aux préoccupations et enjeux de chacun (28). Par exemple, le gestionnaire environnemental des Marais du Vigueirat identifie des risques liés à l'extension possible du Grand Port Maritime de Marseille (GPMM) à l'intérieur des terres. La commune d'Arles, ville ouvrière située essentiellement en amont du Vaccarès, tourne quant à elle le dos au Rhône. En outre, le fonctionnement du système de Camargue et Plan-du-Bourg est relié à celui du Rhône en amont (38) qui a ses propres logiques et intérêts. Les aménagements du Rhône consistent à renforcer les digues (27) et le décorsetage prévu n'est que limité, probablement du fait de potentiels conflits fonciers. On ne peut dans ce cas parler d'intégration du risque au long terme, l'Ile de Camargue continuant d'être une « cuvette sous pression ». La gestion de l'eau à Plan-du-Bourg est liée à des intérêts extérieurs (38), situés en amont (secteur de la Crau) et divergents de ceux du système (28). Le coût de certains aménagements côtiers (37), comme

dans les secteurs des Saintes-Maries-de-la-Mer et de la compagnie des salins à Salin-de-Giraud, contraire néanmoins cette logique de renforcement de l'existant (27), qui n'est pas soutenable sur le long terme.

Les intérêts variés et parfois contradictoires (28), ainsi que l'absence de consensus (29) dans l'examen des risques et des évolutions rendent difficile la mise en place d'une **gestion concertée** (13). Ils conduisent à un morcellement dans l'**intégration des risques** (5) et à une gestion « au fil de l'eau ». L'augmentation du niveau marin, qui est assimilée par la majorité des acteurs et qui connaît d'ailleurs une hausse importante depuis 2007, n'est pourtant pas intégrée dans la gestion du système. Des normes de fonctionnement, comme la règle des « trois vingt » et l'objectif de la Réserve Nationale de Camargue (RNC) d'un niveau inférieur à 0 m NGF (Nivellement Général de la France) début avril sont maintenues. La subsistance de la règle des « trois vingt » s'explique non pas par un déni de la montée du niveau de la mer mais par défaut d'une règle alternative formulée de manière générale et partagée par tous, dotée d'une dimension conventionnelle. Un mode de gestion vernaculaire (8) peut ainsi présenter une certaine inertie (30) qui, avec les incertitudes liées à l'évolution du système (18), rend difficile la mise en place de nouvelles règles de fonctionnement (12). Cet exemple montre comment la référence au passé, dans un système en évolution, constitue un frein pour l'innovation (12). L'absence de consensus concernant la règle des « trois vingt » (29) est un frein à une gestion concertée (13), cependant elle n'enraye pas complètement l'action (5) et ne joue donc pas de manière décisive sur l'adaptabilité du système.

L'**usage de savoirs et de pratiques vernaculaires** (8) peut ainsi constituer un facteur de rigidité, mais il peut également jouer dans le sens de l'**intégration des changements** (5) et de l'**adaptabilité du système** (40). Les agriculteurs savent par exemple faire disparaître une tache salée d'une parcelle par l'introduction d'eau douce. Les **expériences passées** (6) peuvent favoriser l'**intégration des risques** (5) par la mise en place consécutive de mesures (31) et d'instances de concertation (20) qui vont favoriser la **gestion concertée du système** (13). La CEDE, le SYMADREM et le SMGAS (Syndicat Mixte de Gestion des Associations Syndicales du Pays d'Arles) ont été créés suite aux inondations de 1993, 1994 et 2003. Après les inondations de 2003, les différents acteurs ont proposé au GPMM un partage de la décision (13) pour la gestion des vannes. Ces inondations ont par ailleurs eu un effet de revalorisation du rôle des associations syndicales (32). Compte tenu des crises successives (6), les acteurs réunis au sein de la CEDE ont acquis un comportement (12) au fil d'un apprentissage d'une quinzaine d'année permettant d'anticiper sur les problèmes liés aux hautes eaux dans le système (5), et ceci en coordination avec les autorités compétentes. L'intégration des expériences passées (6) permet ainsi d'améliorer la gestion des risques (5) mais peut aussi favoriser les comportements de résistance (27) visant à mettre à l'abri les biens et les personnes.

Les **idées nouvelles** (11), comme réduire l'eau douce à Fumemorte pour limiter les pollutions, pâtissent parfois de leurs conséquences potentielles sur la faune et la flore. Les incertitudes (18) et les différents intérêts en place (28) peuvent ainsi contraindre l'adoption de **comportements novateurs** (12). Face aux problèmes agronomiques et aux besoins d'innovation (36), certaines nouvelles techniques sont envisagées (11) et même débattues collectivement (13), comme le semis à sec au sein du projet Fumemorte. Néanmoins, l'émergence d'idées nouvelles (11) et les comportements novateurs (12) demeurent limités. Parmi les comportements novateurs des acteurs, on peut citer la riziculture biologique, qui ne représente que 5% des surfaces totales, mais semble en progression. Face au problème des effluents agricoles, l'adoption de comportements plus vertueux dans l'agriculture non biologique nécessiterait des aides publiques conséquentes. Les questions des coûts (37) et des interventions extérieures (38) viennent en effet encore complexifier la donne. L'acquisition de salins n'ayant plus de rentabilité suffisante par le Conservatoire du Littoral témoigne d'une intervention nécessaire pour diminuer les coûts de gestion en retournant vers des conditions plus naturelles. Cependant, l'accord théorique partagé sur une nature reprenant ses droits ne correspond pas toujours à une prise de décisions concrètes (13), du fait d'intérêts parfois divergents (28). Les difficultés à gérer financièrement un site naturel (37) obligent à développer des usages et des activités économiques et à éviter une patrimonialisation fixiste des milieux (25). Néanmoins, l'arrivée de nouveaux acteurs et investisseurs (24) correspond aussi à l'émergence de comportements novateurs (12) par de nouvelles activités (tourisme vert, agriturisme, agriculture biologique). Elle correspond aussi à l'apparition de nouveaux intérêts divergents (28) et de représentations parfois idéalisées (25) de la nature en Camargue, avec notamment l'héritage baroncellien de la Camargue éternelle⁵⁴, pouvant au contraire inhiber l'innovation (12).

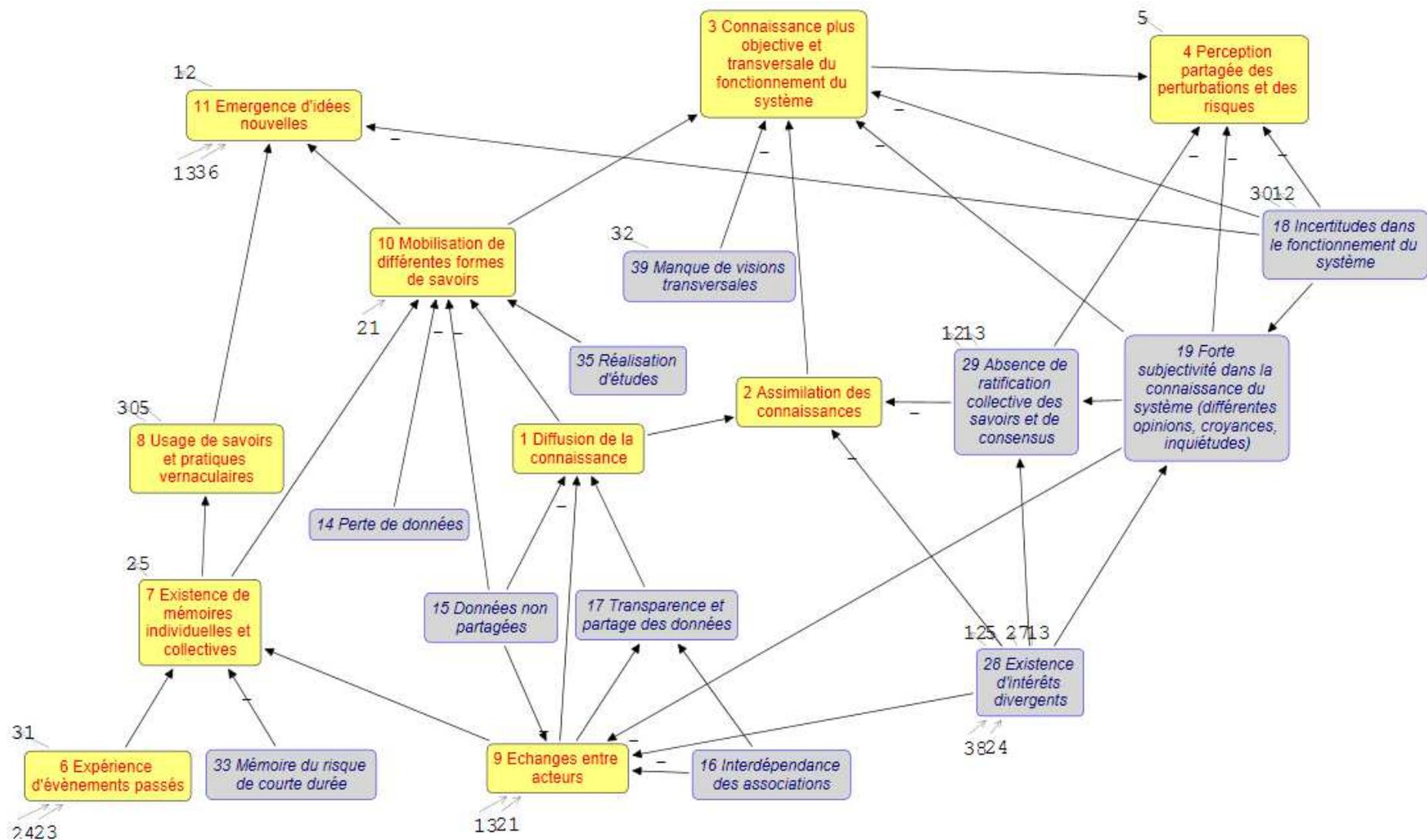
Désormais, les échanges entre les acteurs (9) se tiennent dans un grand nombre d'instances où prennent place différentes formes de concertation (CEDE Ile de Camargue, l'Œuvre du Galéjon, la commission gestion de l'eau du PNRC, Forums de l'eau, contrat de canal au Plan-du-Bourg, Syndicat mixte de gestion des ASA, Agence de l'eau...). Certains manques de concertation, notamment dans la gestion des vannes par le GPMM, ont déjà été évoqués. La création de la SYMADREM et du SMGAS a permis une meilleure transparence et un partage de la décision. La revalorisation des ASA joue également dans ce sens. La mise en place de la CEDE (32), en tant que commission informelle, a été un élément pionnier, qui a permis, à travers une gestion concertée (13), d'améliorer la gestion des ouvertures à la mer (5). La CEDE fournit un cadre original pour penser la gestion collective de l'eau, mais

⁵⁴ À la fin du XIXe siècle et au début du XXe, le patrimoine naturel de la Camargue a fait l'objet d'une mise en valeur symbolique autour du marquis de Baroncelli, écrivain et manadier camarguais. La nature sauvage de la Camargue est considérée comme étant le dernier rempart pour maintenir les traditions provençales menacées par le monde moderne (Picon 2008).

présente également certaines limites. Le roulement des membres permanents des commissions peut poser problème. En outre, certains acteurs ne sont présents que dans certaines instances (21). Par exemple, la perception du risque de salinisation est surtout le fait de camarguais âgés (23) qui ont connu des périodes de salinisation très fortes et en ont vu les impacts sur le territoire (6). Cependant, ces acteurs ne participent pas à la CEDE, seule commission à gérer les vannes (21). Ils sont en revanche membres de la Commission de gestion de l'eau, sous l'égide du Parc, mais elle ne gère pas les entrées et sorties d'eau et constitue davantage un lieu d'information et de discussion (22) pour des démarches de projets. Les chasseurs ne sont pas présents lors des CEDE. Toutefois, une autre scène d'action concertée, dont profite la CEDE, a été ouverte à l'initiative de la Réserve de Camargue et en direction des riziculteurs pour essayer de résoudre le problème des effluents rizicoles dans le Vaccarès. De ce point de vue, de nouveaux acteurs apparaissent dans la concertation. Néanmoins, le cadre d'action de cette instance est là aussi réduit. Le rôle des instances de concertation, s'il n'est pas accompagné de moyens d'action (22), ne se traduit pas par une **gestion concertée** (13). Certains pêcheurs renoncent par ailleurs à peser dans la gestion collective de l'eau et à la contraindre en vue d'autres objectifs. Cette forme de retrait peut contribuer à l'adaptabilité du système sauf si l'on considère que l'adaptabilité du système se définit comme la capacité à maintenir une pluralité d'usages face aux contraintes naturelles. Au final, la gestion concertée de l'eau (13) n'est pas effective, la sphère de la décision restant liée au jeu politique (34). Le défaut d'une gestion véritablement concertée (13) se traduit par des répercussions sur l'acceptation et l'intégration des risques et des changements par les acteurs du système (5).

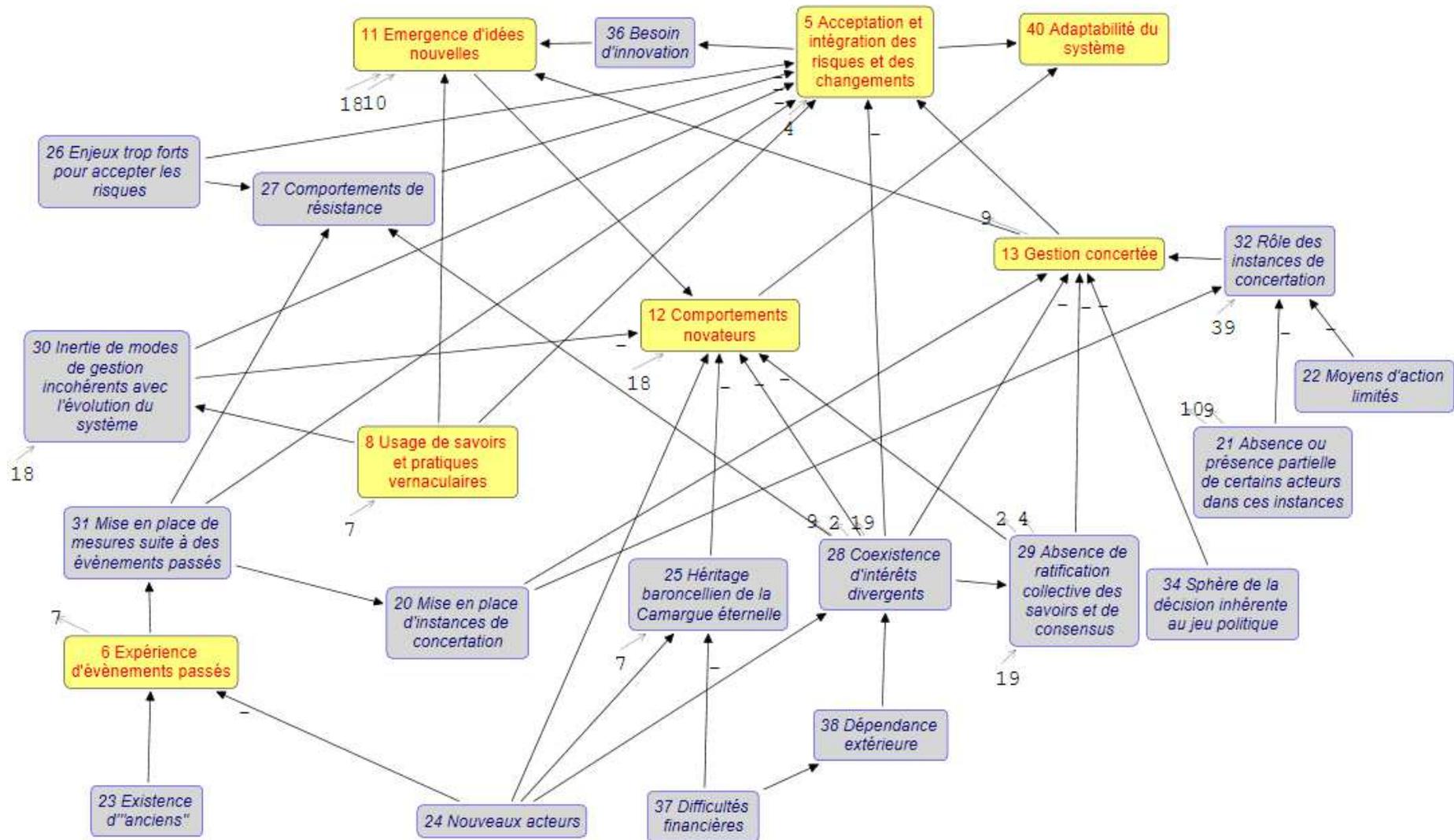
1	Diffusion de la connaissance
2	Assimilation des connaissances
3	Connaissance plus objective et transversale du fonctionnement du système
4	Perception partagée des perturbations et des risques
5	Acceptation et intégration des risques et des changements
6	Expérience d'évènements passés
7	Existence de mémoires individuelles et collectives
8	Usage de savoirs et pratiques vernaculaires
9	Echanges entre acteurs
10	Mobilisation de différentes formes de savoirs
11	Emergence d'idées nouvelles
12	Comportements novateurs
13	Gestion concertée
14	Perte de données
15	Données non partagées
16	Interdépendance des associations
17	Transparence et partage des données
18	Incertitudes dans le fonctionnement du système
19	Forte subjectivité dans la connaissance du système
20	Mise en place d'instances de concertation
21	Absence ou présence partielle de certains acteurs dans ces instances
22	Moyens d'action limités
23	Existence d'"Anciens"
24	Nouveaux acteurs
25	Héritage baroncellien de la Camargue éternelle
26	Enjeux trop forts pour accepter les risques
27	Comportements de résistance
28	Existence d'intérêts divergents
29	Absence de ratification collective des savoirs et de consensus
30	Inertie de modes de gestion incohérents avec l'évolution du système
31	Mise en place de mesures suite à des évènements passés
32	Rôle des instances de concertation
33	Mémoire du risque de courte durée
34	Sphère de la décision inhérente au jeu politique
35	Réalisation d'études
36	Besoin d'innovation
37	Difficultés financières
38	Dépendance extérieure
39	Manque de visions transversales
40	Adaptabilité du système

Tableau 46. Liste des éléments du diagramme causal et numéros identifiants



En jaune et rouge : les critères d'adaptabilité ; En bleu : les éléments du système camarguais venant les caractériser

Figure VI-3. Diagramme causal des relations entre critères d'adaptabilité et éléments du système camarguais (partie 1)



En jaune et rouge : les critères d'adaptabilité ; En bleu : les éléments du système camarguais venant les caractériser

Figure VI-4. Diagramme causal des relations entre critères d'adaptabilité et éléments du système camarguais (partie 2)

2.2.2. Analyse de l'organisation des critères d'adaptabilité

L'organisation des critères d'adaptabilité est déduite du diagramme causal (Figure VI-3 et Figure VI-4). La Figure VI-5, où seuls les critères d'adaptabilité sont représentés (boîtes jaunes), révèle les relations qui les structurent grâce à la fonction *Collapse* du logiciel *Decision Explorer*. Cette fonction permet de synthétiser les relations entre des composantes en tenant compte des éléments et des relations qui ne sont plus explicitement représentés. Les relations directes et indirectes entre critères d'adaptabilité sont ainsi représentées de manière synthétique.

Cette représentation du système laisse clairement apparaître deux « chemins » en direction de l'adaptabilité. Le premier (à gauche sur la Figure VI-5) montre comment les savoirs vernaculaires (8), constitués à partir des mémoires individuelles et collectives (7) des événements passés (6), font émerger des idées novatrices (11) et des comportements nouveaux (12), favorisant l'adaptabilité du système (40). Toutefois, l'inertie de l'usage de pratiques vernaculaires (8) et les représentations liées aux mémoires individuelles et collectives (7) peuvent limiter les comportements novateurs (12). Le second (à droite sur la Figure VI-5) montre comment l'assimilation des connaissances par les acteurs (2), à partir de leurs échanges (9) et de la diffusion des connaissances (1), conduit à une connaissance plus objective et transversale du système (3). L'existence d'une telle connaissance permet une perception partagée des perturbations et des risques (4), qui contribue à leur acceptation et à leur intégration par les acteurs (5) et ainsi à une gestion du système prenant en compte ses évolutions et favorisant son adaptabilité (40).

Des relations existent entre ces deux « chemins ». Ainsi, les échanges entre acteurs (9) permettent l'existence de mémoires collectives (7). L'acceptation et l'intégration des perturbations et des risques (4) favorisent l'émergence d'idées nouvelles (11). Les pratiques vernaculaires (8) et l'expérience d'événements passés (6) peuvent jouer négativement sur l'intégration des perturbations et des risques (4) du fait de l'inertie des usages et de la mise en place de comportements de résistance. Deux éléments centraux mettent également en relation ces deux « chemins ». La mobilisation de différentes formes de savoirs (10), issue de l'existence de mémoires individuelles et collectives (7) et de la diffusion des connaissances (1), favorise l'apparition d'idées nouvelles (11) et une connaissance large du fonctionnement du système (3). D'autre part, la gestion concertée (13), favorisée par l'expérience d'événements passés (6), permet l'apparition d'idées nouvelles (11) mais aussi l'acceptation et l'intégration des risques et des changements (5).

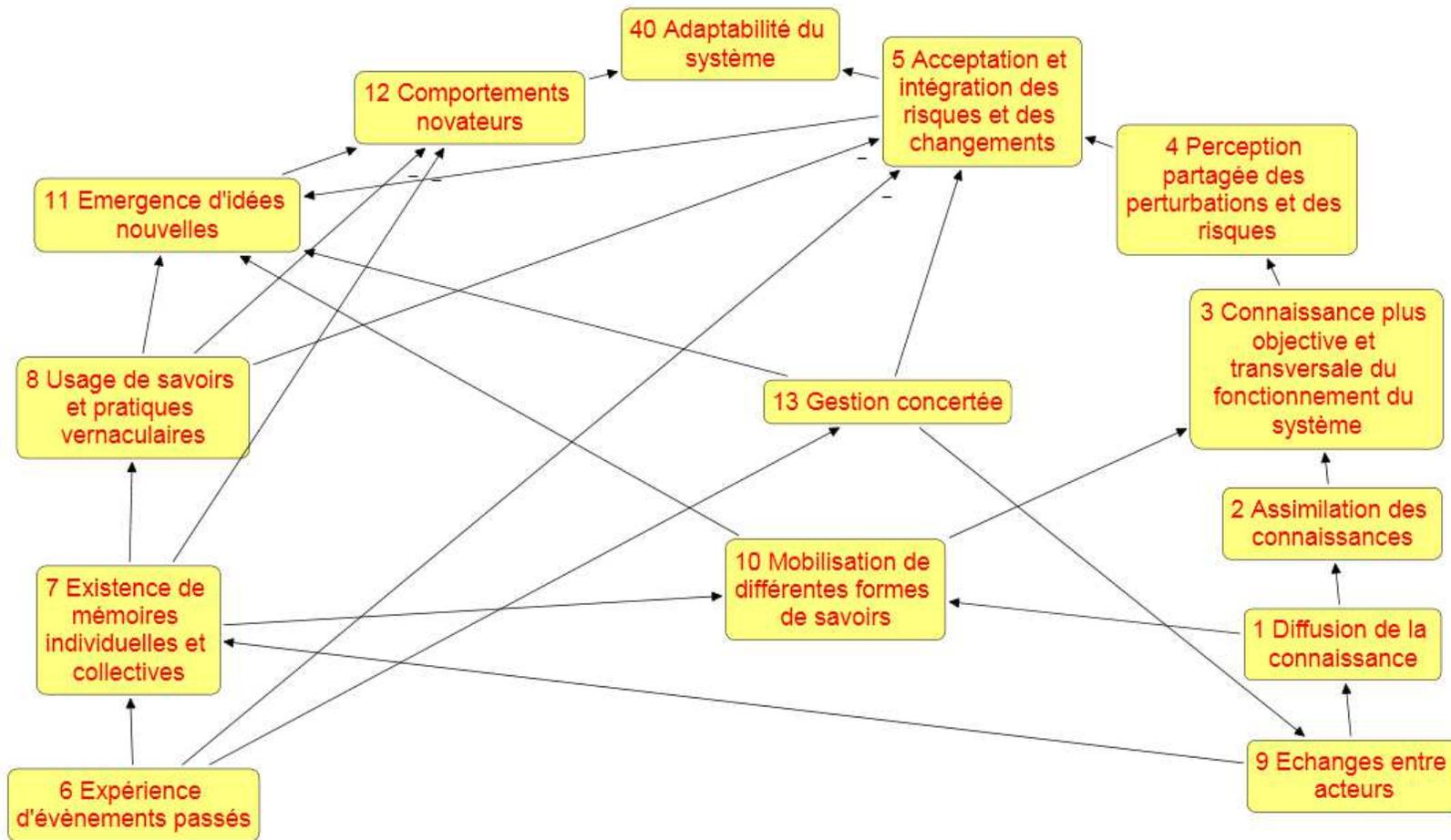


Figure VI-5. Diagramme causal de l'organisation des critères d'adaptabilité

2.2.3. Identification des enjeux de l'adaptabilité du système camarguais : points de blocage et combinaisons favorables

La Figure VI-5 permet de voir les positions relatives et la hiérarchisation des éléments, l'existence de « chemins » alternatifs, de facteurs multiples et l'effet ambivalent de certaines composantes de l'adaptabilité. Deux éléments sont en position déterminantes pour l'adaptabilité (40) puisqu'en lien direct : il s'agit des comportements novateurs (12) et de l'acceptation des risques et des changements (5). Néanmoins, leur mise en place est complexe comme en témoigne les facteurs situés en amont et leurs relations. La dernière étape de cette analyse consiste à identifier les points de blocage et les combinaisons favorables à l'adaptabilité du système camarguais, à partir de l'organisation des critères d'adaptabilité (Figure VI-5) et des éléments qui viennent respectivement les contraindre ou les favoriser (Figure VI-3 et Figure VI-4).

De nombreux éléments jouent de manière positive sur les composantes situées en amont du premier « chemin » (à gauche sur la Figure VI-5), même si quelques éléments viennent les contraindre. En effet, l'expérience d'évènements passés (6) est assurée par l'existence de Camarguais présents depuis plusieurs décennies et originaires de cette région (23). La présence de nouveaux acteurs (24) est réelle mais ne remet pas en cause cette connaissance du fonctionnement du système acquise par la pratique du terrain et la confrontation à des aléas passés. Cette expérience (6) nourrit l'existence de mémoires individuelles et, par les échanges entre acteurs (9), de mémoires collectives (7). Concernant les risques, cette mémoire est cependant de courte durée (33), ce qui peut limiter la prise en compte des crises passées dans le comportement des acteurs. Ces mémoires individuelles et collectives (7) se traduisent par un usage important de nombreux savoirs et pratiques vernaculaires (8), qui constituent souvent une référence pour les acteurs du territoire camarguais.

Les conditions d'émergence d'idées nouvelles (11) sont favorisées par la mobilisation de différentes formes de savoirs (10), les pratiques et savoirs vernaculaires (8), le besoin d'innovation (36) et la gestion concertée (13). La mobilisation de différents types de savoirs (10) est rendue possible par leurs existences (7 et 35) et par leur diffusion (1) allant généralement dans le sens d'une meilleure transparence. Les faiblesses dans la mobilisation de différents savoirs semblent relever du passé et être progressivement améliorées, comme le non-partage de données (15) et l'absence de certains acteurs lors de la concertation (21) avec la mise en place d'instances de concertation. Même si la mise en place d'instances de concertation (20) joue en faveur de la gestion concertée, celle-ci n'apparaît pas encore comme véritablement effective, du fait d'un rôle limité de ces instances (32), de leurs moyens d'action parfois restreints (34 et 22), de l'absence de certains acteurs (21), de la présence d'intérêts fortement divergents (28) et de l'absence de ratification collective des savoirs (13).

Les idées nouvelles sont aussi contraintes par les incertitudes caractérisant le fonctionnement du système (18), qui limitent également l'adoption de comportements novateurs (12). Ces incertitudes sont un point crucial vis-à-vis du rôle des acteurs dans l'adaptabilité du système car elles sont un frein à l'action.

Si les comportements novateurs (12) sont favorisés par les idées (11) et les acteurs (24) nouveaux, ils sont également entravés par ces incertitudes (18) et l'absence de ratification collective des savoirs (29). D'autres éléments du système camarguais viennent limiter les comportements novateurs (12) comme la coexistence d'intérêts divergents (28), l'inertie de modes de gestion incohérents avec l'évolution du système (30) et les représentations idéalisées de la nature sauvage en Camargue (25). Finalement, alors que les premiers critères constituant ce « chemin » sont plutôt favorablement appuyés par les éléments du système camarguais, les idées nouvelles (11) et surtout leur traduction dans des comportements novateurs (12) sont plutôt limitées (à part pour les nouveaux acteurs : tourisme vert, agritourisme, agriculture biologique, etc.). Le rôle des incertitudes semble déterminant à cet égard par leurs répercussions sur la perception du futur et la prise de décision.

Concernant le second « chemin » (à droite sur la Figure VI-5), **de nombreux éléments du système camarguais contribuent à le rendre peu efficient, et ceci dès ses premières composantes.** Les échanges entre acteurs (9) sont favorisés par les relations entre les différentes associations (16) et par la concertation (13). Cependant, ils sont contraints par les limites actuelles de la concertation (21 et 15), les intérêts divergents des acteurs (28), les opinions et les croyances diverses (19) qui aboutissent à des incompréhensions entre les acteurs. La diffusion des connaissances (1) qui résulte de ces échanges (9) semble par conséquent variable (15), avec néanmoins une progression dans le partage de données (7). L'assimilation de ces connaissances (2) est fragmentaire car elle souffre de l'absence de ratification collective des savoirs (29) et se fait par conséquence au regard des intérêts des acteurs (28). La connaissance complexe du fonctionnement du système (3), encouragée par la mobilisation de différentes formes de savoirs (10), n'est cependant pas disponible du fait du manque de visions transversales (39), des incertitudes (18) et de la forte subjectivité qui en résulte (19). Ces deux derniers éléments, avec l'absence de ratification collective des savoirs (29), ne permettent également pas l'émergence d'une perception partagée des perturbations et des risques (4). Les deux conséquences des incertitudes dans le fonctionnement du système (18), à savoir l'absence de ratification collective des savoirs (29) et la subjectivité résultante dans la connaissance du système (19), sont des éléments cruciaux de blocage dans l'adaptabilité du système camarguais. Les incertitudes dans la connaissance du système et de son évolution rend difficile une négociation entre les intérêts divergents, liés aux différentes activités en présence et de leurs usages et besoins spécifiques en eau, et constituent ainsi un frein à une gestion concertée (13). Certaines perturbations sont acceptées et intégrées (5) dans le cadre de pratiques vernaculaires (8) et de mesures mises en place suite à des événements

passés (31). Cependant, l'inertie de certains modes de gestion incohérents avec l'évolution du système montre que les risques et les changements ne sont pas généralement pas intégrés (5). Les comportements de résistance (27), comme le renforcement des digues, non soutenables à long terme, montrent qu'ils ne sont pris en compte qu'à court terme. L'existence d'intérêts divergents (28) et d'enjeux trop forts pour intégrer les risques (26) contraignent en outre fortement leur acceptation (5).

2.3. Perspectives pour la Camargue et l'analyse de l'adaptabilité des territoires

2.3.1. Une adaptabilité par la gestion collective dont les marges de progression sont désormais réduites et la nécessité de se tourner vers de nouveaux principes d'action

L'histoire de la Camargue est celle d'un territoire qui se caractérise par sa capacité d'innovation et qui montre des adaptations successives à différents contextes socio-économiques. Dans le fonctionnement actuel du système, la modification des aménagements hydrauliques et leur gestion est supposée adapter le système aux besoins de la production agricole, de la chasse et de la protection des espèces patrimoniales, tout en veillant au risque d'inondation. Jusqu'alors l'adaptabilité du système correspondait alors au maintien des différents usages par une gestion plus ou moins concertée des vannes des pertuis à la mer. Cependant, face à l'augmentation du niveau marin et à celle du rejet des effluents riziocoles, le système est sous pression croissante et atteint une situation critique. La gestion des niveaux d'eau et la conciliation des différents usages sont de plus en plus difficiles. Les usages sont à la fois interdépendants et en concurrence vis-à-vis de la gestion de l'eau. L'objectif de protection des biens et des personnes face aux risques d'inondation ne peut en effet être satisfait qu'à condition que les évacuations soient optimisées, ce qui n'est plus le cas. Si les difficultés d'évacuation continuent à croître, l'activité de pêche sur le Vaccarès est compromise à moyen terme. La Réserve nationale de Camargue a quant à elle besoin d'une variabilité, en termes de salinité et niveau d'eau, qui n'est pas possible en l'état.

Il semble que l'on soit arrivé au bout de ce qu'il est tendanciellement possible de faire en termes d'adaptation du système actuel face à la limitation croissante de l'exutoire (c'est-à-dire avec les aménagements et le mode de gestion actuels). La solution visant à accroître les capacités d'évacuations à la mer en multipliant les pertuis ou en les élargissant pourrait avoir des conséquences contradictoires liées à une possible augmentation de la salinisation des étangs. Agir sur les pratiques agricoles pour réduire les rejets apparaît quelque peu contraire à la finalité agro-productiviste du système. Même si elles ne seront peut-être pas suffisantes à elles seules pour résoudre le problème du niveau d'eau du Vaccarès, les innovations agronomiques ont ainsi un rôle important à jouer dans l'adaptation de l'activité agricole.

Différentes techniques (semis à sec) et pratiques (canards dans les rizières pour lutter contre l'enherbement) sont envisagées et/ou à l'essai, éventuellement avec des partenaires de la sphère scientifique (UMR Innovation de Montpellier). Une autre solution consisterait à achever la poldérisation de la Camargue et à rejeter toute l'eau de drainage dans le Rhône, mais outre les coûts de l'opération, se pose la question du transfert de polluants ainsi que d'une sursalure des étangs. L'aménagement du système par de nouveaux équipements au niveau de la digue à la mer, tels que des pompes comme cela a pu être envisagé par le passé, est limité par son coût d'installation et de fonctionnement qui pourrait venir remettre en cause la rentabilité de la production agricole. En outre, cette logique d'équipement croissant, avec par exemple la surélévation des digues dans le but d'éviter les inondations, ne peut être maintenue indéfiniment et ne constitue pas une solution à long terme.

Les différentes options pour maintenir son fonctionnement actuel impactent donc respectivement différentes activités et il paraît en conséquence nécessaire de franchir une nouvelle étape dans la gestion du système. C'est aux acteurs de débattre de l'orientation qu'ils souhaitent donner à la Camargue et de définir les principes d'action qui leur permettront d'adapter leur territoire, dans la gestion des usages ou dans le fonctionnement du système. Cependant, les incertitudes sur les évolutions à venir et les différentes représentations de la Camargue issues de cette multiplicité d'acteurs contraignent l'élaboration d'un projet de territoire débattu collectivement. Ce dernier point paraît cependant indispensable, étant donné qu'il est difficile d'adapter un territoire lorsque l'orientation à lui donner ne fait pas l'objet d'une vision partagée par tous. Concernant l'orientation du territoire, l'objectif de protection des milieux naturels est considéré comme allant de soi alors que la pertinence d'une naturalité au service des usages est revendiquée par certains chercheurs (Mathevet 2004, Allouche *et al.* 2011). Face à la pluralité des acteurs, le défi consiste en outre à intégrer leurs différentes visions de la Camargue, plutôt que d'imposer une norme qui conduirait à rigidifier le système. L'adaptabilité du système camarguais se situe d'ailleurs en grande partie au niveau individuel, les évolutions se faisant de plus en plus à une échelle fine et résultants de choix individuels d'acteurs. Il ne faudrait donc pas enrayer cette variabilité au niveau micro, qui constitue un potentiel d'adaptation important, même si elle est difficile à appréhender.

Si les marges de progression sont importantes au niveau du Plan-du-Bourg en termes d'amélioration de la gestion sociale, en Camargue les possibilités de faire reposer l'adaptation sur une amélioration de la gestion collective sont désormais faibles. Les procédures de décision collectives et de gestion ont déjà fait l'objet d'un apprentissage conséquent et n'offrent plus que des marges de progression réduites. Si l'on s'en tient au principe d'action que représente la gestion des vannes, le rôle de la concertation des acteurs sur l'adaptabilité est cependant désormais limité, du fait de l'impossibilité de trouver une solution qui puisse satisfaire les différents usages. Face aux évolutions en cours, l'adaptabilité est en effet

contrainte si l'on cherche à maintenir le système camarguais dans son état passé ou actuel. Les conditions d'adaptabilité nécessitent alors l'adoption de nouveaux principes d'action : nouvelles pratiques, abandon de certains usages, gestion différente, etc. Les acteurs publics posent l'objectif de conciliation des usages et ne semblent pas opter pour l'abandon d'activités agricoles, notamment la riziculture. Une diversification des principes d'action s'observe actuellement et se traduit par des pratiques culturelles innovantes et par le projet de Fumemorte, qui vise à réactiver le passage Vaccarès/Beauduc via le pertuis de la Comtesse (cf. Annexe 3) et à diminuer les entrées d'eau d'origine agricole et les intrants. En outre, confrontés à l'ampleur des forçages naturels (hausse du niveau de la mer), les acteurs publics semblent se saisir dans le même temps de l'opportunité qui leur est fournie par la mutation en cours des anciens salins, qui ont été acquis par le Conservatoire du Littoral. Cette mutation foncière fournit en effet l'opportunité d'envisager un changement de paradigme dans le mode de gestion : une renaturation offrant plusieurs perspectives de dépassement du système actuel. Si une telle option était choisie, la situation de crise dans la gestion hydraulique du delta aurait abouti à une nouvelle relation entre eau et territoire.

2.3.2. Une démarche de diagnostic de l'adaptabilité des territoires formalisée au sein d'un cadre conceptuel permettant la flexibilité et la reproductibilité

La prévision des évolutions d'un système complexe étant particulièrement délicate, voire impossible (Aschan-Leygonie 2000), l'évaluation de l'adaptabilité est forcément empreinte d'incertitudes. Néanmoins, dans une optique prospective, l'identification des facteurs favorisant l'adaptation et ses obstacles permet de définir les potentialités du système et des leviers d'action. La grille de lecture qui a été mise en place permet une lecture transversale du fonctionnement du système à travers des critères d'adaptabilité définis de façon itérative. L'application de la grille permet d'analyser la pertinence et le rôle de chacun des critères au sein du système étudié sur l'adaptabilité, contrairement aux approches où les critères sont définis a priori. En cela, cette approche se conforme à l'objectif initial de dépasser une conception déterministe de la capacité d'adaptation, pour une appréhension holistique et contextuelle de la question, sous un angle néanmoins pragmatique et opérationnel. Elle nous a permis de restituer l'ambivalence du rôle des critères d'adaptabilité : un même critère peut jouer de manière favorable et défavorable sur l'adaptabilité du système selon les contextes. Par exemple, la cohésion du système favorise son adaptabilité, mais se traduit par une rigidification si elle est trop importante. De même, l'instabilité des dynamiques du système témoigne d'une réactivité au changement mais le manque de stabilité peut se traduire par une sensibilité aux petites perturbations. L'analyse par la grille de lecture constitue une démarche reproductible et flexible, puisque de nouveaux critères peuvent y être introduits. Les apports de cette démarche sont donc double : au niveau générique du fonctionnement des systèmes territoriaux sous l'angle de l'adaptabilité (identification des

critères d'adaptabilité, par exemple la diffusion de l'information) et au niveau du cas d'étude (comment ces critères s'expriment sur le terrain, par exemple : qui diffuse l'information ? qui la reçoit et qui ne la reçoit pas ?). Ce deuxième aspect permet d'identifier les enjeux du système en vue d'une gestion favorisant l'adaptabilité du système, qui devrait se baser sur les forces et faiblesses existantes.

Cette position à mi-chemin entre approche générique de l'adaptabilité et approche contextualisée, préconisée par A. Magnan (2009), pose des bases de comparaison entre différents territoires, tout en prenant en compte le rôle différencié des critères selon les territoires. Notre démarche est en effet proche de celle présentée au niveau théorique par A. Magnan (2009), qui montre l'intérêt de coupler les deux visions (générique et contextualisée) et d'analyser dans les composantes territoriales quelles sont les barrières qui se posent à l'adaptation, et sur quels leviers appuyer les politiques et les actions. Elle en diffère par le fait que nous ne nous basons pas sur l'utilisation d'indicateurs quantitatifs. L'approche adoptée est qualitative et permet ainsi d'intégrer une multiplicité de connaissances de différentes natures parfois complexes (des tendances contradictoires, des rétroactions, des connaissances floues, etc.). La formalisation prend place au niveau de la conception du diagramme causal, qui permet de structurer la connaissance et d'analyser les interrelations entre facteurs d'adaptabilité afin de mettre en évidence les éléments et mécanismes qui les renforcent et ceux qui les contrarient. En termes de perspectives, nous pensons qu'un approfondissement des connaissances relatives aux critères spatiaux de l'adaptabilité du système camarguais pourrait également aboutir à la mise en place d'une analyse par diagramme causal et permettrait de mieux les intégrer à l'analyse des critères relatifs aux acteurs. Il serait par ailleurs intéressant d'appliquer la même démarche à d'autres territoires afin de voir s'il en ressortirait la même organisation des critères d'adaptabilité que celle émergeant à partir de l'analyse du diagramme causal. Enfin, la démarche pourrait être ouverte à la simulation par l'emploi de l'analyse d'impacts croisés (Gordon et Hayward 1968). Cette méthode constitue en effet une extension de l'utilisation des potentialités des diagrammes sagittaux (Caglioni et Rabino 2009). Pour chaque lien de cause à effet est attribuée une valeur qui représente la force de la relation et qui peut être définie par les acteurs. Ces impacts directs font ensuite l'objet d'une analyse croisée pour divers scénarios, dont l'effet sur les variables d'intérêt peut être évalué. L'effet de différentes mesures d'adaptation sur l'adaptabilité du système pourrait ainsi être testé.

Conclusion

L'analyse qui a été menée montre que l'adaptabilité des territoires constitue une entrée qui peut être opérationnelle pour étudier l'adaptation des territoires. Elle permet de mettre en évidence les éléments du fonctionnement du système qui sont favorables et défavorables à son adaptabilité, sur lesquels devraient s'appuyer les stratégies d'adaptation. En effet, l'analyse de la Camargue dévoile une organisation des facteurs d'adaptabilité en deux « chemins » conduisant à celle-ci.

Le premier chemin met en relation les éléments relevant de la mémoire, des pratiques ou encore des représentations des acteurs, avec l'émergence d'idées et de comportements novateurs. Alors que les premiers éléments constitutifs de cette voie d'adaptation sont favorablement appuyés par les éléments du système camarguais, les idées nouvelles et surtout leur traduction dans des comportements novateurs sont restreintes. Elles émergent néanmoins d'acteurs nouveaux en Camargue, au niveau d'activités telles que le tourisme vert, l'agritourisme, ou encore l'agriculture biologique. Des marges d'adaptation apparaissent ainsi et pourraient être renforcées et étendues à d'autres acteurs en limitant les incertitudes sur l'évolution du système, qui inhibe les comportements novateurs. En contexte incertain, les acteurs tendent à faire perdurer les références et modes de gestion, même obsolètes.

Le second chemin a trait à la connaissance du fonctionnement du système, à l'acceptation et à l'intégration des risques et des changements. Les incertitudes, mais aussi la multiplicité des acteurs, contraignent cette voie d'adaptation. Les progrès de la gouvernance, par la mise en place de diverses instances de concertation, favorisent désormais les échanges et une meilleure connaissance du système par les acteurs. Cependant, face à l'élévation continue du niveau de la mer, les possibilités de faire reposer l'adaptation sur une amélioration de la gestion collective paraissent à présent limitées, puisqu'une gestion concertée des vannes n'est plus suffisante. De nouveaux principes d'action et de nouvelles ressources en termes d'adaptabilité du système doivent être mis en place. Favoriser l'émergence d'idées nouvelles et l'adoption de comportements novateurs est une piste à développer, afin de dépasser le mode de gestion actuel qui atteint ses limites. Des signaux allant dans cette direction apparaissent : nouvelles pratiques agricoles limitant les intrants et les rejets d'effluent dans le Vaccarès, projet de Fumemorte de connexion hydraulique vers Beauduc, projet de reconversion des salins vers une renaturalisation. Ce dernier projet, par son ampleur (6000 ha) et sa nature, marquerait un véritable tournant dans la gestion des relations eau-territoire en Camargue, jusqu'alors caractérisée par la volonté de maîtriser les échanges en eau.

L'approche ici développée permet ainsi d'identifier des leviers pour renforcer l'adaptabilité, ce qui peut déjà constituer un élément de stratégie d'adaptation sur le long terme dans un contexte de fortes incertitudes (Brooks *et al.* 2005).

Conclusion du Chapitre VI

Le système camarguais est complexe par la multiplicité des interrelations entre l'hydrosystème et l'anthrosystème et par leur variabilité dans le temps et dans l'espace. Cette complexité locale se double d'incertitudes face à divers facteurs de changements globaux externes, climatiques et économiques, dont les impacts sur le système camarguais sont méconnus. L'élévation du niveau de la mer engendre une situation critique puisque les sorties d'eau du delta du Rhône vers la mer sont rendues impossibles une très grande partie de l'année. La gestion des échanges en eau, réalisée par des vannes au niveau de la digue à la mer, est ainsi compromise. La situation est susceptible non seulement de se dégrader davantage avec la poursuite de l'élévation du niveau de la mer, mais aussi d'impacter fortement les activités et de provoquer d'importantes inondations, par le Rhône ou par submersion marine.

L'analyse de l'adaptabilité du système camarguais a été développée dans le cadre du programme de recherche CAMPLAN - Gestion intégrée d'un hydrosystème : Camargue et Plan-du-Bourg (Allouche *et al.* 2012). À partir du cadre théorique de la résilience des systèmes, transposée pour l'analyse de l'adaptabilité des systèmes territoriaux, une grille de critères génériques de l'adaptabilité a été construite et appliquée aux différents volets du programme CAMPLAN, avec la contribution des chercheurs concernés. Cela a permis de valider cette grille, d'analyser la pertinence et d'identifier le rôle des différents critères, parfois ambivalents, dans le contexte du système camarguais. Les connaissances rassemblées ont été analysées en deux parties, la première concernant les critères spatiaux de l'adaptabilité et la seconde le rôle des acteurs dans l'adaptabilité du système camarguais. Cette seconde partie, par la complexité et l'ampleur des connaissances rassemblées, a nécessité la mise en place d'une approche systémique, où les relations entre les différents critères et les éléments du système camarguais s'y rapportant ont été formalisées à l'aide d'un diagramme causal. Les relations ont pu être synthétisées à l'aide d'un logiciel de cartographie cognitive afin de mettre en évidence la structure fondamentale de l'ensemble. À partir des deux voies d'adaptation qui en sont apparues, ont été analysés les points de blocage et les éléments favorables à l'adaptabilité du système. Des leviers et des freins à l'adaptabilité ont pu être identifiés. **La démarche développée et son application au système camarguais valide ainsi l'hypothèse H4 selon laquelle une analyse géographique, intégrant l'espace et la complexité des territoires, peut contribuer à identifier les facteurs favorisant l'adaptation des territoires et ses obstacles. Cette démarche peut dès lors contribuer à la définition de mesures d'adaptation qui soient en adéquation avec les contextes territoriaux et valide l'hypothèse H5.**

Face à la difficulté d'étudier de façon contextuelle l'adaptabilité des territoires, cette approche offre à la fois un formalisme par la grille de critères génériques qui lui assure sa

reproductibilité, et une flexibilité liée à l'analyse du rôle de chaque critère dans le système territorial étudié, qui permet de dépasser une conception déterministe de l'adaptabilité.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Après un rapide rappel de la problématique et du positionnement général de la thèse, cette conclusion fera état des apports et limites méthodologiques et thématiques résultant des différentes démarches mises en place. Dans un second temps, les perspectives méthodologiques et opérationnelles soulevées par cette thèse seront abordées de manière transversale.

Positionnement général de la thèse

L'objectif de cette thèse est de développer des connaissances permettant de mieux appréhender les évolutions futures des régions côtières de l'Arc Latin. Le devenir de ces territoires littoraux est en effet soumis à de fortes incertitudes, liées aux changements climatiques futurs, et à des pressions anthropiques croissantes, du fait de leur forte attractivité. Dans une perspective de durabilité territoriale, deux enjeux émergent alors pour l'action territoriale : la gestion des dynamiques de littoralisation et l'adaptation au changement climatique (cf. schéma de synthèse).

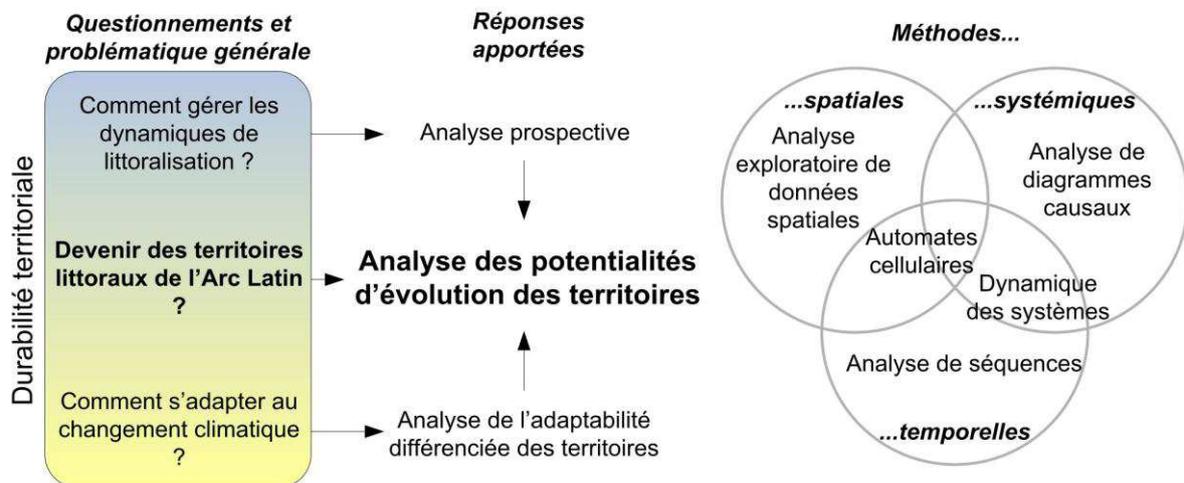


Schéma de synthèse du positionnement de la thèse

Élaborées dans le but de soutenir cette anticipation, les connaissances prospectives développées dans la thèse se basent sur l'analyse des potentialités d'évolution des territoires : les évolutions potentielles des dynamiques spatiales de littoralisation d'une part, et l'adaptabilité différenciée des territoires littoraux au changement climatique d'autre part. Il s'agit dans les deux cas d'étudier les propriétés des territoires sur lesquelles se fondent leurs évolutions, et notamment celles relatives aux configurations spatiales. En effet, nous adoptons les principes de la prospective spatiale qui, basée sur le cadre théorique et méthodologique de

l'analyse spatiale, place l'espace et ses principes de différenciation au cœur de l'analyse de l'évolution des territoires. Une connaissance spatialisée des dynamiques et du fonctionnement des territoires permet de faire émerger leurs potentialités d'évolution et de servir une finalité prospective. L'approche développée est non seulement spatiale et temporelle, mais également systémique, la prise en compte de la complexité des territoires étant indispensable à l'appréhension de leurs évolutions et fonctionnements. Les méthodes employées traduisent cette triple orientation et permettent même d'intégrer ces différents aspects, dans une perspective exploratoire.

Analyse prospective des dynamiques de littoralisation de l'Arc Latin

- Apports et limites méthodologiques

L'analyse rétrospective sur laquelle se base la prospective des dynamiques de littoralisation de l'Arc Latin présente l'originalité d'identifier des trajectoires territoriales. Il s'agit de la succession de configurations spatiales que présente un territoire et qui est considérée dans son ensemble, en tant que structure spatio-temporelle. L'apport de cette démarche, mise en œuvre dans une approche comparative, est de faire émerger des logiques d'évolution, par des trajectoires récurrentes mais aussi par des spécificités locales. Ces modèles d'évolution soutiennent l'analyse prospective. Une des spécificités de l'analyse des trajectoires est qu'elle prend en compte non seulement l'évolution spatiale de la distribution de la population, mais aussi l'évolution spatiale des dynamiques de peuplement. Alors que l'utilisation d'une méthode d'analyse exploratoire de données spatiales (les indicateurs locaux d'association spatiale) fait émerger la configuration spatiale des dynamiques de peuplement pour chaque décennie, c'est le recours à une méthode d'analyse de séquences qui a permis de les analyser dans leur ensemble. L'utilisation de l'algorithme de l'Appariement Optimal aboutit à une classification qui prend en compte les décalages temporels pouvant exister dans les trajectoires de peuplement des différentes portions de l'Arc Latin. Cette méthode, utilisée en sciences sociales pour l'analyse de parcours de vie à partir d'enquêtes longitudinales, n'avait à notre connaissance jamais été employée pour formaliser l'évolution de territoires.

À partir de ces analyses, la démarche consiste à caractériser les propriétés des trajectoires de peuplement pour évaluer leurs potentialités de maintien ou d'évolution. Nous avons ainsi mis en place une nouvelle démarche de prospective spatiale, basée sur les propriétés des trajectoires territoriales. Quatre propriétés ont été identifiées – la direction, la stabilité, la vitesse et le stade de la trajectoire – et les analyses précédentes ont permis de les caractériser pour chacune des 39 aires d'étude de l'Arc Latin. Ces propriétés se complètent pour informer les modalités d'évolution des territoires et une lecture croisée permet de faire émerger des espaces à enjeux. Il s'agit des lieux où la gestion de la littoralisation revêt une importance particulière du fait des dynamiques de peuplement passées, actuelles et potentielles. Quatre types d'espaces à enjeux ont été identifiés et des modalités d'intervention

qui leur sont adaptées en termes d'aménagement du territoire ont pu être esquissées. L'hypothèse H1, selon laquelle une connaissance rétrospective des dynamiques et des logiques d'évolution du peuplement peut informer sur les évolutions prochaines du processus de littoralisation, a pu être validée. Il nous semble que l'hypothèse H3, selon laquelle l'analyse prospective des trajectoires de peuplement peut fournir une information pertinente pour une gestion anticipatrice et différenciée des dynamiques de littoralisation, puisse également être validée, du fait de la nature des enseignements tirés, mais seule une mise en œuvre concrète pourrait réellement en témoigner.

Face à l'imprédictibilité du futur, l'objectif était de mettre en évidence des évolutions potentielles, en se basant sur les propriétés des territoires, de leurs trajectoires de peuplement et sur la forte structuration spatio-temporelle de processus de littoralisation. Cette démarche d'analyse prospective basée sur les trajectoires territoriales est adaptée aux processus géographiques structurés en différentes phases d'évolution, présentant une logique d'évolution caractérisée par différentes dynamiques spatiales successives. Ces évolutions potentielles se situent néanmoins uniquement dans la perspective d'une poursuite de l'attractivité côtière qui, dans le contexte du changement climatique, pourrait être discutée.

- Apports et limites thématiques

L'analyse de l'évolution de la distribution de la population en fonction de la distance à la mer met en évidence une grande continuité dans les stades d'évolution des littoraux de l'Arc Latin : concentration littorale et déclin dans l'arrière-pays, puis renversement et glissement de la dynamique littorale en faveur du proche arrière-pays. Néanmoins, l'analyse de l'évolution des dynamiques de peuplement valide notre hypothèse relative à l'existence de différents modèles spatio-temporels de littoralisation (H2). Le processus présente des évolutions spatio-temporelles différenciées dans leurs formes spatiales, leurs intensités et leurs rythmes. La classification issue de l'analyse de séquence a permis d'identifier sept classes d'évolution des dynamiques de peuplement. Deux d'entre elles correspondent à des variations de trajectoires de concentration littorale : dans l'une, la zone de forte dynamique de peuplement concerne des pôles littoraux peu évolutifs tandis que l'autre présente des franges littorales se développant latéralement. Trois classes correspondent à un élargissement de la zone de concentration littorale vers l'intérieur des terres : des trajectoires très rapides d'évolution intérieure à partir de franges littorales, des trajectoires correspondant à des aires littorales progressant vers l'intérieur des terres dans les dernières décennies et des grandes régions littorales qui évoluent lentement vers l'intérieur des terres par déprise littorale. Les trajectoires se différencient ainsi par l'avancement du processus de littoralisation mais aussi par l'emprise spatiale de la zone de concentration littorale (du petit pôle littoral à la grande région littorale), leurs dynamiques spatiales (mouvements intérieurs et parallèles au rivage), et leur caractère évolutif (rapidité ou inertie, intensité des changements dans la distribution de la

population). Une autre classe correspond à un développement intérieur et la dernière classe met en évidence des évolutions jusqu'alors peu étudiées. En effet, nous avons notamment pu montrer, sur certaines aires d'étude, que la zone de fortes dynamiques de peuplement atteint l'intérieur des terres et progresse latéralement, comme un front perpendiculaire au rivage. Le croisement des résultats des différentes analyses montrent que cette dynamique correspond dans certains cas à une des évolutions possibles des régions où le processus de littoralisation atteint des stades très avancés. La cartographie des espaces à enjeux (espaces proches de la saturation, espaces saturés, espaces potentiels de densification continue le long du littoral ou de déploiement intérieur) réaffirme la nécessité d'une gestion spatialement intégrée des littoraux. Nous montrons que les zones de développement futur doivent être prises en compte et que celles-ci sont à géométrie variable, en fonction de l'avancement de la littoralisation mais aussi des configurations spatiales des zones de fortes dynamiques de peuplement.

Pour dépasser le stade des grandes orientations et rendre cette connaissance opérationnelle, d'autres variables devraient être prises en compte afin de définir les enjeux territoriaux dans toutes leurs dimensions. Au final, cette définition des enjeux ne peut se faire qu'au regard des acteurs du territoire. Ce point soulève la question de l'intégration des acteurs et des gestionnaires du territoire que nous abordons plus loin de manière transversale.

Analyse de l'adaptabilité des territoires littoraux au changement climatique

Deux démarches d'analyse de l'adaptabilité des territoires littoraux au changement climatique ont été développées, avec des apports différents au niveau des méthodes comme au niveau des enseignements thématiques.

- Apports et limites méthodologiques

La première démarche montre qu'une approche basée sur la simulation permet d'explorer l'adaptabilité des territoires. Le modèle, développé pour analyser l'adaptabilité d'aires urbaines littorales au changement climatique, a nécessité l'intégration des dimensions spatiales, temporelles, et plus largement systémiques, des territoires. Ainsi, les résultats de l'automate cellulaire servent d'entrée au modèle en dynamique des systèmes. L'intérêt de ce modèle est de simuler les évolutions temporelles des différentes variables du système territorial et leurs effets conjoints sur l'apparition de situations de tension et de crise en termes de besoins et de disponibilité des ressources en eau. Différents types de mesures d'adaptation peuvent alors être implémentées et testées, seules ou combinées, ou encore avec d'autres types de politiques territoriales, comme la protection des espaces littoraux et agricoles. La simulation donne la possibilité d'expérimenter l'effet de ces mesures sur différents territoires fictifs et ainsi de comparer leur adaptabilité.

Les possibilités offertes par la modélisation sont vastes et il est facile d'intégrer d'autres composantes dans le modèle et de tester d'autres mesures. L'intégration d'une rétroaction du modèle en dynamique des systèmes sur l'automate cellulaire fait partie des

prochains développements, afin de tester la mise en place de mesures d'adaptation réactives, c'est-à-dire faisant suite à un évènement particulier. Aidant à mieux appréhender l'adaptabilité d'un système territorial et ses mécanismes, cet outil théorique constitue un outil d'aide à la réflexion intéressant, dont l'élargissement de l'utilisation à des acteurs et gestionnaires territoriaux pourrait être envisagé. La transposition de ce type de modèle vers une application d'aide à la décision nécessiterait des développements pluri- et interdisciplinaires importants.

La seconde démarche montre que l'adaptabilité peut également être analysée de manière plus directement opérationnelle, sous forme d'un diagnostic territorial spécifique. Développée dans le cadre du programme de recherche interdisciplinaire CAMPLAN, sur la gestion intégrée de l'hydrosystème camarguais, l'analyse de l'adaptabilité est basée sur les connaissances et travaux des chercheurs de ce programme. Pour faire émerger la connaissance sur l'adaptabilité tout en dépassant une conception déterministe de ses facteurs, la méthode développée est cadrée par la mise en place d'une grille de critères génériques qui lui assure sa reproductibilité, mais elle est également rendue flexible par une analyse du rôle spécifique de chaque critère pour le système territorial en question. Cette grille est complétée et enrichie au fur et à mesure de la progression de l'analyse. Les relations entre les différents critères et les éléments du système camarguais s'y rapportant ont été formalisées dans un diagramme causal, dont l'analyse de la structure a mis en évidence les voies d'adaptation du système. L'analyse des points de blocages et des éléments favorables à l'adaptation du système territorial désigne alors des leviers et des freins à l'adaptation, que les stratégies d'adaptation peuvent utiliser pour favoriser leur efficacité.

Un des objectifs de la démarche était de prendre en compte à la fois les critères spatiaux de l'adaptabilité et les critères relatifs aux acteurs et à la gouvernance. Leur analyse s'est préalablement faite de façon distincte, les informations récoltées étant trop hétérogènes pour permettre une intégration directe. Une modélisation du système spatial sous forme de diagramme causal – comme cela a été le cas pour les éléments relatifs aux acteurs – pourrait aider à cette intégration.

Grâce à ces deux méthodes, nous avons pu valider l'hypothèse selon laquelle une approche géographique, basée sur une analyse systémique et spatiale du fonctionnement des territoires, permet une meilleure connaissance de l'adaptabilité des territoires (H4).

- Apports et limites thématiques

Pour la première démarche, les résultats des simulations, réalisées sur deux espaces fictifs différents (des aires urbaines littorales compacte et éclatée) révèlent une adaptabilité différenciée des territoires en fonction de leur organisation spatiale, pour toute chose égale par ailleurs. Les simulations montrent que l'adaptation peut être mise en place, avec plus ou

moins de succès selon les configurations spatiales, à différents niveaux : par une action directe sur les consommations d'eau (réduire la consommation), par une action sur les activités qui les génèrent (favoriser l'agriculture sèche) ou encore par une action plus structurelle sur les configurations spatiales. Il s'agit par exemple pour cette option de limiter l'extension des formes d'habitat les plus consommatrices d'eau. Il paraît donc nécessaire que les mesures d'adaptation au changement climatique prennent en considération l'organisation spatiale existante et ses évolutions. La simulation conjointe d'autres politiques territoriales montre la nécessité d'intégrer également les autres problématiques territoriales, qui peuvent entrer en interaction.

Si les configurations spatiales interviennent bien sur l'adaptabilité d'un territoire, il reste difficile d'évaluer dans quelle mesure, notamment par rapport aux acteurs. Ici les mesures implémentées portaient automatiquement leurs fruits, sans considération sur leur faisabilité ou encore l'adhésion des populations. Nous pensons qu'à terme il faut considérer cette adaptabilité spatiale comme un levier supplémentaire pour l'adaptation et non pas de façon dissociée des autres ressources du territoire. Comme le souligne A. Magnan (2009), « chercher à s'adapter constitue un véritable moteur pour la mise en œuvre de la soutenabilité », du fait de l'urgence à agir contre les effets du changement climatique et de la nécessité de développer une approche systémique pour penser l'adaptation. La démarche de modélisation mise en place permet d'aborder la question de l'intégration des logiques de l'adaptation dans celles de la durabilité territoriale.

Les résultats du diagnostic de l'adaptabilité du système camarguais dévoilent une organisation des facteurs d'adaptabilité en deux « chemins » conduisant à celle-ci. La première voie d'adaptation est relative aux pratiques, représentations, mémoires et comportements des acteurs. L'analyse des éléments du système camarguais s'y rapportant montrent que les comportements novateurs sont contraints par les incertitudes mais émergent néanmoins d'acteurs nouveaux en Camargue. Les acteurs présents depuis plus longtemps en Camargue appuient quant à eux favorablement l'adaptabilité du système par leurs connaissances, mais le contexte incertain peut les conduire à faire perdurer des modes de gestion devenus obsolètes. La seconde voie d'adaptation concerne la relation des acteurs au système camarguais, en termes de connaissance, d'acceptation et d'intégration des risques et des évolutions. On découvre que la gestion de l'hydrosystème a fait l'objet de nombreuses optimisations (meilleur partage de l'information, gestion collective, solutions techniques, etc.). L'élévation continue du niveau de la mer nécessite à présent l'émergence de nouveaux principes d'action et de nouvelles ressources en termes d'adaptabilité du système. Afin de dépasser le mode de gestion actuel qui atteint ses limites, favoriser le développement de nouvelles idées est une piste émergente, en témoignent de nouveaux projets davantage tournés vers la renaturalisation de la Camargue, alors que la gestion était jusqu'à présent orientée vers la maîtrise des échanges en eau.

Les éléments mis en évidence concernant les critères spatiaux de l'adaptabilité ont plus servi de cadrage sur l'évolution générale du système et n'ont pas permis d'aller aussi loin qu'avec les critères relatifs aux acteurs. L'orientation des discussions et des recherches des différents chercheurs a contribué à favoriser certains axes d'analyse de l'adaptabilité du système, en l'occurrence la partie acteurs et gouvernance. Il semble en fait que l'organisation spatiale de la Camargue, entretenue artificiellement par les réseaux de canaux et de digues, constitue une contrainte lorsque l'on considère son maintien en l'état (qui correspond à des besoins désormais en partie disparus) plutôt que son évolution, la nature pouvant rapidement reprendre ses droits. Les connexions hydrauliques restent néanmoins un enjeu spatial important.

Ces deux démarches, par l'analyse exploratoire des composantes et mécanismes de l'adaptabilité des territoires, mettent en évidence des mesures d'adaptation en adéquation avec les contextes territoriaux, ce qui valide notre dernière hypothèse (H5). L'adaptation au changement climatique soulève d'autres questions en relation avec la dimension spatiale des territoires qui n'ont pu être développées dans cette thèse. Nous pensons notamment à la prise en compte des différentes échelles spatiales et de leurs relations dans la mise en place de l'adaptation, pour laquelle une approche spatiale et systémique paraît également indispensable.

Perspectives méthodologiques et opérationnelles

Pour conclure ces réflexions, nous souhaitons aborder deux perspectives transversales suscitant notre intérêt à l'issue de cette thèse.

L'association de méthodes qualitatives et quantitatives pour analyser la complexité des systèmes territoriaux

Les analyses mises en place dans cette thèse mobilisent et parfois combinent des méthodes quantitatives et qualitatives. Alors que ces méthodes ont souvent été opposées dans le passé, M. Cagliani et G.A. Rabino (2009) montrent qu'elles tendent à être de plus en plus associées, du fait de leur complémentarité. Selon les auteurs, la perspective épistémologique des systèmes complexes est, avec les progrès de l'informatique, à l'origine d'une revalorisation des aspects qualitatifs, en tant que signature de la complexité. Les méthodes qualitatives sont en effet employées dans nos analyses pour intégrer les dimensions spatiales et temporelles de l'évolution des territoires (analyse de séquences) et pour formaliser les relations complexes entre composantes du système camarguais (diagrammes sagittaux). Il semble en outre que certains aspects de la thèse pourraient être approfondis par l'utilisation d'autres méthodes qualitatives, en complément des méthodes de différentes natures déjà

mobilisées : une analyse d'impacts croisés à partir du diagramme sagittal de la Camargue pour simuler les effets de différentes mesures d'adaptation sur certaines composantes de l'adaptabilité du système, le recours à la logique floue pour intégrer l'incertitude entourant les seuils des indicateurs décrivant les propriétés des trajectoires de peuplement, ou encore l'élaboration d'une taxonomie pour améliorer la spécification des états pris par les trajectoires. En effet, ces états correspondent à des configurations spatiales issues de la cartographie des indicateurs locaux d'association spatiale (LISA). La définition de ces états repose sur l'identification des configurations spatiales porteuses de sens dans l'évolution des dynamiques de peuplement des littoraux et que l'on peut retrouver sur les différents espaces d'étude. Pour mettre en évidence ces états communs à différents espaces d'étude, ce qui induit une perte d'information par rapport aux configurations spatiales individuelles, nous les avons ensuite décrits par des critères spatiaux (forme, surface, orientation, etc.). L'utilisation d'une taxonomie où seraient organisées les différentes combinaisons des critères spatiaux et où figureraient les états résultants pourrait être soutenue par des indicateurs quantitatifs sur la forme, le nombre, l'emprise ou encore l'orientation des zones de forte dynamique démographique. Cette taxonomie permettrait de mieux définir les relations de proximité et de ressemblance entre état et pourrait ainsi aider à la définition des coûts de transition pour la mise en œuvre de l'appariement optimal. Elle ouvrirait en outre la spécification des configurations spatiales à l'identification de nouveaux états et de nouvelles évolutions des espaces littoraux, et assurerait ainsi la reproductibilité de la méthode d'identification des trajectoires.

Situées à l'interface entre géographie et aménagement du territoire, la prospective spatiale et la géoprospective ont tout intérêt à associer méthodes quantitatives et qualitatives afin d'intégrer la complexité des territoires, les acteurs, les dimensions spatiales et temporelles et les incertitudes relatives à l'exploration des devenir possibles des territoires. Une fois les modalités d'évolution des territoires mise en évidence par la prospective spatiale, la géoprospective, qui intègre l'exploration des devenir des territoires par la simulation, constitue une perspective d'intérêt majeur. La simulation permet non seulement d'explorer différents scénarios d'évolution mais aussi d'évaluer les effets d'actions territoriales visant à préparer l'évolution des territoires, comme nous l'avons vu pour la simulation de différentes mesures d'adaptation au changement climatique sur des aires urbaines littorales.

Du développement conceptuel et méthodologique à l'opérationnalisation des résultats

L'objectif de cette thèse est de produire des connaissances prospectives sur les territoires littoraux de l'Arc Latin. Cet objectif s'est concrétisé par le développement de méthodes d'analyse des potentialités d'évolution des territoires, relatives aux dynamiques de littoralisation et à l'adaptabilité au changement climatique. Se pose alors la question de l'opérationnalisation des résultats. Pour L. Casanova (2010), la prospective spatiale revêt une

fonction de diagnostic territorial. La représentation graphique des résultats, à laquelle une importance particulière est donnée, sert de base à une réflexion collective soutenant la définition d'un projet de territoire. D'une manière générale, l'évolution des démarches de prospective territoriale se caractérise par une intégration de plus en plus importante des acteurs : d'abord limitées aux experts et aux décideurs, ces démarches s'ouvrent progressivement à tous les acteurs de la société civile. L'objectif est de mobiliser les acteurs pour « mettre en mouvement » un territoire par la réflexion collective, la synergie des acteurs et le débat public (Durance *et al.* 2007). Les principes appliqués pour l'élaboration d'un projet de territoire sont la concertation, la participation et la co-construction.

À l'issue de cette thèse, nous nous posons la question de l'intégration des acteurs dès l'élaboration du diagnostic territorial, et non pas uniquement en aval dans la phase de conception du projet de territoire. Il semble que l'intégration des acteurs soit parfois nécessaire dans l'élaboration même du diagnostic, pour en éclairer certains aspects. Nous avons pu le voir avec l'intégration des connaissances expertes et des savoirs vernaculaires dans le diagnostic de l'adaptabilité du système camarguais. Si les trajectoires de peuplement sont bien mises en évidence par l'analyse rétrospective des dynamiques spatiales passées, la définition des enjeux et espaces à enjeux liés aux potentialités d'évolution résultantes se trouve quant à elle limitée en l'absence du regard des acteurs. Ce positionnement à distance des acteurs n'est cependant pas totalement dénué d'intérêt puisqu'il permet dans notre cas de considérer les espaces à enjeu du point de vue de la durabilité territoriale et des conséquences d'une littoralisation intensive des côtes, et dans une perspective de comparaison des littoraux de l'Arc Latin. L'intégration des acteurs dans le processus de production des connaissances peut néanmoins permettre de mieux répondre à leurs besoins, prendre en compte les différents points de vue existants, et aider à définir les actions orientant et préparant les évolutions à venir.

Cette question de l'intégration des acteurs dans la phase de diagnostic fait l'objet de traitements différents, pas toujours clairement établis, dans les diverses démarches de co-construction de projets territoriaux développées dans la dernière décennie. Ces démarches recourent aux méthodes et outils du géographe et intègrent les acteurs à différentes étapes de l'analyse, non sans difficulté, comme nous l'avons montré avec K. Emsellem et F. Scarella (2012).

Les démarches participatives, telles que la gouvernance territoriale, la géogouvernance et la modélisation d'accompagnement, visent à faciliter le jeu des acteurs et à les intégrer dès la phase de diagnostic. Les travaux de gouvernance territoriale, basés sur des outils de compréhension et d'action tels que les ateliers participatifs (Batton *et al.* 2008), la co-conception de cartes (Augeon et Lardon 2003) ou encore la modélisation graphique (Caron et Cheylan 2005), ont récemment été enrichies par le concept de « géogouvernance » (Dubus *et al.* 2010). Sa finalité est de rendre intelligible la complexité du territoire et « faire émerger les

enjeux spatiaux [vers] une gouvernance territoriale éclairée » (Masson-Vincent *et al.* 2012). Par sa posture spatiale forte, par sa réflexion centrée sur l'information géographique, par l'attention portée aux résultats visualisables (images virtuelles, SIG, etc.), la géogouvernance se rapproche de la géoprospective. Cependant, les approches de gouvernance territoriale et de géogouvernance sont davantage tournées vers l'amélioration du présent que vers la conception des devenirs possibles des territoires, puisqu'aucun scénario, simulation ou potentialité d'évolution ne sont intégrés. Ainsi, les acteurs sont mobilisés pour le diagnostic et la conception du projet territorial, mais pas pour une exploration des devenirs possibles.

Au contraire, la modélisation d'accompagnement développe une démarche participative de décision territoriale où les acteurs sont intégrés tout au long du processus (Étienne 2010). Ayant pour objectif de comprendre et de faire comprendre la gestion des ressources renouvelables, les chercheurs du collectif ComMod ont choisi l'angle particulier de la modélisation, abstraite ou concrète, à travers des outils informatiques, couplés à d'autres techniques, pour permettre apprentissage et conception partagés dans un territoire (Collectif ComMod 2006). L'utilisation de systèmes multi-agent (SMA) et de jeux de rôle favorise l'interdisciplinarité, l'intégration des connaissances des acteurs locaux et la participation du public (Gourmelon *et al.* 2013). Dans un premier temps, les représentations et les pratiques spatiales des acteurs sont intégrées dans la conceptualisation ; ces éléments sont ensuite modélisés au cours d'un long processus itératif de discussion et de validation, entre acteurs et modélisateurs (Étienne et Bousquet 2009). Dans un second temps, la modélisation permet de simuler des scénarios, identifiés et évalués par les acteurs, sur la base de différentes modalités de gestion du territoire.

Face à ces démarches participatives, les travaux de géoprospective adoptent deux postures, ce qui indique bien les hésitations de ce champ de recherche par rapport à l'intégration des acteurs. Certaines recherches n'intègrent que très faiblement les acteurs dans la conception d'outils d'aide à la décision spatialisés. Les différents scénarios sont définis par des variations de règles de transformation des territoires, établies par le scientifique lui-même, même si la modélisation réalisée sert à « guider les orientations d'aménagement à prévoir » et vise donc les décideurs (Voiron-Canicio 2006). D'autres recherches ne tiennent compte des acteurs qu'à certaines étapes de la prospective ou de différentes manières. Par exemple, ils peuvent être pris en compte lors de l'élaboration des scénarios, à travers les discours des acteurs associatifs et politiques (Basse 2010) ou par l'intervention d'experts dans le choix des facteurs explicatifs (Agujejad 2009), mais sans processus de co-construction. À l'inverse, certains chercheurs déterminent seuls l'analyse des dynamiques d'évolution des paysages, puis élaborent et évaluent des scénarios prospectifs spatialisés lors de réunions participatives avec gestionnaires et acteurs locaux (Houet *et al.* 2008b).

La prise en compte des acteurs reste limitée en géoprospective et en prospective spatiale, parce que leur diversité et leur complexité est difficile à intégrer aux différentes étapes. Dans un processus d'aide à la décision qui doit souvent être rapide, elle demeure

longue à exploiter. Les démarches de modélisation d'accompagnement mettent en évidence les difficultés de l'adaptation des outils en fonction du public visé et de l'assimilation de la démarche par les participants (Chlous-Ducharme et Gourmelon 2012). Une intégration variable des acteurs peut néanmoins correspondre à la possibilité d'adapter les démarches au cas par cas, en fonction des délais et des objectifs.

BIBLIOGRAPHIE

– A –

- Abbott, A. et Forrest, J. (1986), « Optimal Matching Methods for Historical Sequences », *Journal of Interdisciplinary History*, n°16, pp. 471-494
- Abbott, A. et Tsay, A. (2000), « Sequence analysis and optimal matching methods in sociology: Review and prospect », *Sociological methods & research*, n°29(1), pp. 3-33
- Adger, W. N. (1999), « Social vulnerability to climate change and extremes in coastal Vietnam », *World Development*, n° 27, pp. 249-269
- Adger, W. N., Eriksen, S., Brooks, N., Kelly, M. et Bentham, G. (2004), *New indicators of vulnerability and adaptive capacity*, Tyndall Centre Technical Report 7, 124 p.
- Adger, W. N., Arnell, N. W. et Tompkins, E. L. (2005), « Successful adaptation to climate change across scales », *Global Environmental Change*, n°15, pp. 77-86
- Adger, W. N., Agrawala, S., Mirza, M. M. Q., Conde, C., O'Brien, K., Pulhin, J., Pulwarty, R., Smit, B. et Takahashi, K. (2007), « Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability », in M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der Linden et C. E. Hanson, *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 717-743
- Adger, W. N. et Vincent, K. (2005), « Uncertainty in adaptive capacity », *C. R. Geoscience*, n°337, pp. 399-410
- Adger, W. N. (2006), « Vulnerability », *Global Environmental Change*, n°16, pp. 268-281
- Aguejdad, R. (2009), « Étalement urbain et évaluation de son impact sur la biodiversité, de la reconstitution des trajectoires à la modélisation prospective. Application à une agglomération de taille moyenne : Rennes Métropole », Thèse soutenue à l'Université Rennes 2, 372 p.
- Alberini, A., Chiabai, A. et Muehlenbachs, L. (2006), « Using expert judgment to assess adaptive capacity to climate change: Evidence from a conjoint choice survey », *Global Environmental Change*, n°16, pp. 123-144
- Allen, K. (2003), « Vulnerability reduction and the community-based approach », in M. Pelling, *Natural Disasters and Development in a Globalising World*, Routledge, pp.170-184
- Allouche, A., Dervieux, A. et Nicolas, L. (2011). « Discordances et concordances de l'eau agricole dans le delta du Rhône ». *Colloque Usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en Méditerranée : quels enjeux pour quels services*, 20-21 janvier 2011, Université de Provence, Marseille, 12p.
- Allouche, A., Dervieux A., et Nicolas L. (2012), *CAMPLAN : Gestion intégrée d'un hydrosystème : Camargue et Plan-du-Bourg*, Rapport final, 295 p.
- Anselin, L. (1995), « Local indicators of spatial association LISA », *Geographical analysis*, n°27, pp. 93-115
- Anselin, L. (2005), *Exploring Spatial Data with GeoDa: A Workbook*, Spatial Analysis Laboratory, Department of Geography, University of Illinois at Urbana-Champaign

- APUR, DREIF et IAURIF (1990), *Livre Blanc de l'Île de France*, Atelier Parisien d'URbanisme, Direction Régionale de l'Équipement d'Ile-de-France, Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la Région d'Ile-de-France, Paris, 96 p.
- Aschan-Leygonie, C. (1988), « La Résilience d'un système spatial, l'exemple du Comtat », Thèse de Géographie, Université de Paris 1 La Sorbonne
- Aschan-Leygonie, C. (2000), « Vers une analyse de la résilience des systèmes spatiaux », *L'espace géographique*, vol. 29, n° 1, pp. 64-78
- Assunção, R. et Reis, A. E. (1999), « A new proposal to adjust Moran's I for population density », *Statistics in Medicine*, n°18, pp. 2147-2161
- Augeon, V. et Lardon, S. (2003), « Dessiner et comprendre le territoire : quand le jeu devient un processus collaboratif d'apprentissage et de création » in B. Debarbieux et S. Lardon (dir.), *Les Figures du projet territorial*, La Tour-D'Aigues, Éditions de l'Aube, coll. « Monde en cours », pp. 245-257
- Auriac, F. 1979, « Système économique et espace, un exemple en Languedoc », Thèse de Géographie, Université de Montpellier, 438 p.

– B –

- Banos, A. (2001), « A propos de l'analyse spatiale exploratoire des données », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 197, mis en ligne le 18 octobre 2001, url : <http://cybergeo.revues.org/4056>
- Barredo, J. I., Kasanko, M., McCormick, N. et Laval, C. (2003), « Modelling dynamic spatial processes: Simulation of urban future scenarios through cellular automata », *Landscape and Urban Planning*, n°64, vol.3, pp.145-160
- Batton-Hubert, M., Joliveau, T. et Lardon, S. (2008), « Modélisation spatiale et décision territoriale participative. Conception et mise en œuvre dans des ateliers participatifs chercheurs-acteurs », *Revue internationale de géomatique*, numéro spécial sur « Représentations spatiales dans les démarches participatives », vol. 18, n°4, pp. 551-572
- Batty, M. et Xie, Y. (1994), « From cells to cities », *Environment Planning B*, vol. 21, pp. 31-48
- Berger, G. (1958), « L'attitude prospective », *Revue Prospective*, n° 1
- Bertrand, F. (2010), « L'adaptation au changement climatique : les défis d'une approche intégrée pour les territoires », *Séminaire adaptation au changement climatique en zones vulnérables*, GIS Climat Environnement Société, 15 et 16 juin 2010, Paris
- Bertrand, F. (2012) ADAP'TERR - *L'adaptation au changement climatique : les défis d'une approche intégrée pour les territoires*, rapport final du programme ADAP'TERR, Programme Gestion et Impacts du changement climatique, APR 2008, UMR CITERES, Tours, 148 p.
- Bertrand, F. et Rocher, L. (2007), *Le changement climatique, révélateur des vulnérabilités territoriales ? Action publique locale et perceptions des inégalités écologiques*, rapport final du programme D2RT, « Politiques territoriales et développement durable », Université de Tours, 148 p.
- Bertrand, F. et Simonet, G. (2012), « Les trames vertes urbaines et l'adaptation au changement climatique : perspectives pour l'aménagement du territoire », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], hors-série 12, mai 2012

- Bessy-Pietri, P. (2000), *Recensement de la population 1999. Les formes de la croissance urbaine*, Insee Première, n° 701
- Billari, F. C. (2001), « Sequence Analysis in Demographic Research », *Canadian Studies in Population*, vol. 28 n°2, pp. 439-458
- Billé, R. (2006), « Gestion intégrée des zones côtières: quatre illusions bien ancrées », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], vol. 7, n° 3, décembre 2006
- Bille, R. et Rochette, J. (2008), « La GIZC face au changement climatique », *Colloque La gestion intégrée des zones côtières en Méditerranée, du local au régional : comment stopper la perte de biodiversité ?*, 18-19 décembre 2008, Nice, 7 p.
- Bourdin, S. (2013), « Vers une réduction des inégalités régionales dans l'Union européenne ? Une approche multiscalaire des trajectoires de convergence », *Colloque Théoquant*, 20-22 Février 2013, Besançon
- Brandt, J. (dir.) (2003), *DIS4ME: Desertification Indicator. System for Mediterranean Europe*, url : <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/> – ISSN: 1749-8996
- Brooks, N. (2003), *Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework*, Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper n° 38, 20 p.
- Brooks, N., Adger, W. N. et Kelly P. M. (2005), « The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation », *Global Environmental Change*, n°15, pp. 151-163
- Brundtland, G. H. (1987), *Our common future*, Report of the world commission of environment and development, 318 p.
- Brunel, C. et Sabatier, F. (2009), « Potential sea-level rise influences in controlling shoreline position for French Mediterranean Coast », *Geomorphology*, vol. 107, n°1-2, pp. 79-89.
- Brunet, R. (1980), « La composition des modèles dans l'analyse spatiale », *L'espace géographique*, vol. 9, n°4, pp. 253-265
- Brunet, R., Ferras R. et Théry, H. (1992), *Les Mots de la géographie*, Reclus-La Documentation française, Paris, 518 p.
- Brunet, R. (2001), *Le Déciffrage du monde. Théorie et pratique de la géographie*, Belin, 400 p.
- Buhot, C., Gérard, Y., Brulay, F. et Choblet, C. (2009), *Tensions foncières sur le littoral*, Presses Universitaires de Rennes, 174 p.
- Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O. et Schipper, E. L. (2002), « From Impacts Assessment to Adaptation Priorities: the Shaping of Adaptation Policy », *Climate Policy*, n°2, pp. 145-159

– C –

- Caglioni, M., Pelizzoni, M. et Rabino, G. A. (2006), « Urban Sprawl: A Case Study for Project Gigalopolis Using SLEUTH Model », *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 4173, pp. 436-445
- Caglioni, M. et Rabino, G.A. (2009), « Qualitative Methods in Geography and Planning », in F. Bavaud et C. Mager (dir.), *Handbook of Theoretical and Quantitative Geography*, UNIL-FGSE, Lausanne, pp. 403-429

- Capineri, C., Cortesi, G. et Spinelli, G. (1995), « Conclusion: Recent changes and futures perspectives in the « Latin Arc » », in G. Cortesi (ed.), *Urban change and the environment. The case of the north-western Mediterranean*, Guerini e associati, Geo & Clio series, Milan, pp. 330-347
- Caron, P. et Cheylan, J.-P. (2005), « Donner sens à l'information géographique pour accompagner les projets de territoire : cartes et représentations spatiales comme supports d'itinéraires croisés », *Géocarrefour*, vol. 80, n°2, pp. 111-122
- Carraro, C. et Sgobbi, A. (2008), *Climate Change Impacts and Adaptation Strategies In Italy. An Economic Assessment*, Nota di lavoro, Fondazione Eni Enrico Mattei, CCMP, Climate change modelling and policy, n°6, 25 p.
- Carrière, J.-P., Demazière, C., Filimon, L. et Petrea, R. (2013), *La mise en oeuvre du développement territorial durable : déclinaisons franco-roumaines*, Editions L'Harmattan, Paris, 278 p.
- Casanova, L. (2010), « Les dynamiques du foncier à bâtir comme marqueurs du devenir des territoires de Provence intérieure, littorale et préalpine : éléments de prospective spatiale pour l'action territoriale », Thèse soutenue à l'Université d'Avignon, 441 p.
- Conseil Économique et Social Région Midi-Pyrénées (2000), *Les Dessesins de 2030. Une prospective pour les habitants de Midi-Pyrénées*. Paris : Futuribles international, INRA, coll. « Travaux et recherches prospectives », 224 p.
- CETE Méditerranée (2007), *Les évolutions des territoires littoraux 1986-2006*, Conseil Général des Ponts et Chaussées, 79 p.
- Chamussy, H., Le Berre, M., Uvietta, P. et Durand, M.-G (1984), « Cheminements systémiques du modèle AMORAL à une réflexion théorique en géographie » in Y. Guermond (dir.) *Analyse de système en géographie*, Presses Universitaires de Lyon, coll. Science des systèmes, Lyon, 324 p.
- Chamussy, H., Le Berre, M., Uvietta, P. et Durand, M.-G. (1986), *Cheminements systémiques du modèle AMORAL à une réflexion théorique en géographie*, Université de Grenoble, L.A.M.A., Grenoble, 140 p.
- Chardonnel, S. (2001), « La Time-Geography: les individus dans le temps et dans l'espace. », in L. Sanders (coord.), *Aspects fondamentaux de l'analyse spatiale*, Hermes Sciences, Paris, pp. 129-156
- Charre, J. (1995), *Statistique et territoire*, Reclus, Espaces Modes d'Emploi, La Documentation Française, 115 p.
- Chery, J.-P. (1998), « Modélisation d'un système spatial en zone frontalière franco-suisse, adéquation de la dynamique de système aux problèmes de la différenciation spatiale », Thèse de Géographie, Université de Grenoble, 315 p.
- Chlous-Ducharme, F. et Gourmelon, F. (2012), « Modélisation d'accompagnement : appropriation de la démarche par différents partenaires et conséquences. Expérience originale en milieu côtier ». *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 11, n°3
- Clarke, K. C. (2003), « Geocomputation's future at the extremes: high performances computers and nanoclients », *Parallel Computing*, n° 29, pp. 1281-1295
- Cicin-Sain, B. et Knecht, R. W. (1998), *Integrated coastal and ocean management, concepts and practices*, Island press, Washington D. C., 518 p.
- Coccosis, H. et Henocque, Y. (2001), *Livre Blanc sur la Gestion des zones côtières en Méditerranée*, PNUE/PAM/PAP, Split, 90 p.
- Colas, S. (2011), *Environnement littoral et marin*, Service de l'observation et des statistiques, MEEDTL, Paris, 166 p.

- Commission Européenne (2004), *Vivre avec l'érosion côtière en Europe, Espaces et sédiments pour un développement durable*, Conclusions de l'étude EUROSION, 38 p.
- Collectif ComMod. (2006), « Modélisation d'accompagnement », in F. Amblard et D. Phan (dir.), *Modélisation et simulation multi-agents : applications aux sciences de l'homme et de la société*, Hermès Science publications, Londres, pp. 217-228
- Conesa, A. (2010), « Modélisation des réseaux de transport collectifs métropolitains vers la structuration territoriale des réseaux. Applications au Nord-Pas-de-Calais et à Provence-Alpes-Côte d'Azur », Thèse soutenue à l'Université de Lille, 494 p.
- Corbin, A. (2001), *L'Avènement des loisirs, 1850-1960*, Flammarion, Paris, 471 p.
- Cori, B. (1999), « Spatial dynamics of Mediterranean coastal regions », *Journal of Coastal Conservation* n°5, Opulus Press, Uppsala, pp.105-112
- Cori, B. et Lazzeroni, M. (1995), « Vers une délittoralisation de la population en Toscane ? », *Méditerranée*, vol.81, Février 1995, Dynamiques actuelles de la population dans les pays méditerranéens, pp. 117-120
- Cortesi G. (ed.), (1995), *Urban change and the environment. The case of the north-western Mediterranean*, Guerini e associati, Geo & Clio series, Milan, 347 p.
- Cortesi, G., Capineri, C. et Spinelli, G. (1996), « Urban change and environment in the North-western Mediterranean », *Bollettino della Società Geografica Italiana*, vol. 1, n°1, pp. 81-106
- Courtot, R. (2003), « Urbanisation et environnement sur les littoraux nord-méditerranéens, Journée d'études du 13 mars 2002 », *Rives nord-méditerranéennes*, n°15, pp. 7-10
- Courtot, R. et Perrin, C. (2005), « Morphologie et gestion de l'étalement urbain des aires métropolitaines méditerranéennes », *Territoires méditerranéens*, n°13, 41 p.

– D –

- Dagorne, A. (1995), *La Côte d'Azur, un mur de béton ?*, Alpes-Maritimes et Monaco, Recherches régionales, Alpes-Maritimes et contrées limitrophes, Archives départementales du Conseil Général des Alpes-Maritimes, pp. 163 – 213.
- Daligaux, J. (2001), « La périurbanisation en Provence : visages d'hier et d'aujourd'hui, interrogations pour demain. Le cas du Var et des Bouches-du-Rhône », *Géocarrefour*, vol. 76, n° 4, pp. 289-302
- Dartout, P. et Cordobes, S. (2010), « Interview introductive », *Territoires 2040. Actes du Prospective Info du 1er juin 2010 « Des systèmes spatiaux à l'heure du changement »*, La Documentation française, Paris, 35 p.
- DATAR (1971), *Une image de la France en l'an 2000. Scénario de l'inacceptable*, La Documentation française, coll. « Travaux et recherches de prospective », n°20, 173 p.
- DATAR (1975), *La Méthode des scénarios. Une réflexion sur la démarche et la théorie de la prospective*, La documentation Française, coll. Travaux et Recherches de Prospective, n° 59, juin 1975, Paris, 133 p.
- Dauphiné, A. et Provitolo, D. (2007), « La résilience : un concept pour la gestion des risques », *Annales de géographie*, vol. 2, n° 654, pp. 115-125
- De Perthuis, C., Hallegatte, S. et Lecocq, F. (2010), *Économie de l'adaptation au changement climatique, Rapport pour le Conseil Economique pour le Développement Durable (CEDD)*, 89 p.

- De Rosnay, J. (1975), *Le macroscopie*, Seuil, coll. Civilisations, Paris, 314 p.
- DEDUCE consortium (2007), *Indicators Guidelines, To adopt an indicators-based approach to evaluate coastal sustainable development*, Développement durable des zones côtières européennes, Interreg IIIC, 98 p.
- Dervieux, A., Allard, P. et Voiron-Canicio, C. (2008), *PROJET 12 : CAMPLAN Gestion intégrée d'un hydrosystème : Camargue et Plan-du-Bourg*, Résumé de la proposition de recherche, url : http://www.cnrs.fr/prg/PIR/programmes-termines/EetT/projets2008/DERVIEUX_E&T_2008.pdf
- Dessai, S. et Hulme, M. (2004), « Does Climate Adaptation Policy need Probabilities ? », *Climate Policy*, n°4, pp. 107-128
- Dewailly, J-M. et Flament, É. (1998), « Côte d'Azur et Riviera, ou la fausse symétrie d'un littoral touristique binational », in A. Gamblin (dir.), *Les littoraux : Espaces de vie*, coll. Dossiers des Images Economiques du Monde, SEDES, pp. 318-330
- DIACT (2004), *Construire ensemble un développement équilibré du littoral*, Etude prospective, Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires, La Documentation Française, Paris, 156 p.
- Dinard, F. (1999), « La pertinence de la maille locale dans l'étude de la littoralisation en Méditerranée », *Méditerranée*, vol. 91, Février 1999, Littoralisation et disparités spatiales Machrek/Maghreb, pp. 103-106
- Dobry, M. (2000), « Les voies incertaines de la transitologie : choix stratégiques, séquences historiques, bifurcations et processus de path dependence », *Revue française de science politique*, 50e année, n°4-5, pp. 585-614
- Downing, T. E., Butterfield, R., Cohen, S., Huq, S., Moss, R., Rahman, A., Sokona, Y. et Stephen, L. (2001), *Vulnerability Indices: Climate Change Impacts and Adaptation*, UNEP Policy Series, UNEP, Nairobi
- Dubois, G. et Ceron, J. P. (2006), *Adaptation au changement climatique et développement durable du tourisme, Etude exploratoire en vue d'un programme de recherche*, Rapport final, TEC (Tourisme Transports Territoire Environnement Conseil), 131 p.
- Dubos-Paillard, E., Langlois, P. et Guermond, Y. (2003), « Analyse de l'évolution urbaine par automate cellulaire : le modèle SpaCelle », *L'Espace géographique*, vol. 32, n° 4, pp. 357-378
- Dubus, N., Helle, C. et Masson-Vincent, M. (2010), « De la gouvernance à la géogouvernance : de nouveaux outils pour une démocratie locale renouvelée », *L'Espace politique*, vol. 10, n°1, 21 p. url : <http://espacepolitique.revues.org/index1574.html>
- Dumolard, P. (1998), « Modéliser pour anticiper », *Actes du Colloque Géopoint*, pp. 324-328
- Durand, D. (2004), *La systémique*, Que Sais-Je, PUF, Paris, 9ème édition, 126 p.
- Durand-Dastès, F. (1991), « Le particulier et le général en géographie », in F. Audigier et G. Baillat, *Actes du 6° colloque de Didactiques de l'histoire de la géographie, des sciences sociales*, pp. 207-216
- Durand-Dastès, F. (2001), « Le temps, la géographie et ses modèles », *Bulletin de la Société géographique de Liège*, vol.40, n°1, pp. 5-13

– E –

- EEA (European Environment Agency) (2006), *The changing faces of Europe's coastal areas*, EEA report, n° 6, 112 p.
- EEA (European Environment Agency) (1999), *Le milieu marin et littoral méditerranéen : état et pressions*, Résumé, Copenhague, 44 p.
- Elissalde, B., (2000), « Géographie, temps et changement spatial », *L'espace géographique*, vol. 29, n°3, pp. 224-236
- Elissalde, B. (2005), « Temps et modélisation en géographie, le cas des régions de l'Union européenne », in Guermond, Y. (dir.), *La modélisation en Géographie, déterminisme et complexité*, Hermès, Paris, pp. 201-231
- Emsellem K., Lizard S. et Scarella F. (2012), « La géorprospective : l'émergence d'un nouveau champ de recherche ? » *L'espace géographique*, n°2, pp. 154-168
- Enault, C. (2003), « Vitesse, accessibilité et étalement urbain : analyse et application à l'aire urbaine dijonnaise », Thèse de Géographie, Laboratoire THEMA, Département de Géographie, Université de Bourgogne, Dijon
- Engelen, G., Lavalle, C., Barredo, J. I., van der Meulen, M. et White, R. (2007), « The Moland Modelling Framework for Urban and Regional Land-use Dynamics » in E. Koomen, J. Stillwell, A. Bakema et H. J. Scholten (dir.), *Modelling Land-Use Change, Progress and Applications*, pp. 297-319
- Engle, N. L. (2011), « Adaptive capacity and its assessment », *Global Environmental Change*, vol. 21, n°2, pp. 647-656
- Equipe MIT (Mobilités, Itinéraires, Tourisimes) (2002), *Tourisimes 1 : Lieux communs*, Knafou R. (dir.), coll. Mappemonde, Belin, Paris, 320 p.
- Eriksen, S. H. et Kelly P. M. (2007), « Developing credible vulnerability indicators for climate adaptation policy assessment », *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, n°12, pp. 495-524
- ESPON (2013), *Flux démographiques et migratoires affectant les régions et villes européennes (DEMIFER)*, Rapport final, 101 p.
- Étienne, E. (dir.) (2010), *La Modélisation d'accompagnement. Une démarche en appui au développement durable*, Éditions Quae, coll. «Update Sciences & Technologies», Versailles, 320 p.
- Étienne, M. et Bousquet, F. (2009), « Accompagner le développement : les différentes étapes d'une démarche de modélisation d'accompagnement », in P. Béguin et M. Cerf (dir.), *Dynamique des savoirs, dynamique des changements*, Octarès, Toulouse, pp. 175-190
- Eurostat (2011), *Eurostat regional yearbook 2011: Population*, Statistical books, Luxembourg, 31 p.

– F –

- Faričić, J. (2006), *Northern dalmatia islands in the process of littoralization – development, problems and perspectives*, Thèse de doctorat en Géosciences, Université de Zagreb, 500 p.
- Folke, C., Colding, J. et Berkes, F. (2002), « Introduction: Building resilience for adaptive capacity in social-ecological systems » in F. Berkes, J. Colding et C. Folke (dir.), *Navigating Social-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp.1-31

- Forrester, J. W. (1969), *Urban Dynamics*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 285 p.
- Forrester, J. W. (1984), *Principes des Systèmes* (3^e édition), Presses Universitaires de Lyon, Lyon, 341 p.
- Füssel, H.-M. (2007), « Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research », *Global Environmental Change*, vol.17, n°2, pp. 155-167
- Füssel H.-M. et Klein, R.J.T. (2002), « Assessing Vulnerability and Adaptation to Climate Change: An Evolution of Conceptual Thinking », UNDP Expert Group Meeting *Integrating Disaster Reduction and Adaptation to Climate Change*, La Havane, Cuba, 17-19 juin 2002, 28 p.

– G –

- Gabadinho, A., Ritschard, G., Müller, N. S. et Studer, M. (2011), « Analyzing and visualizing state sequences in R with TraMineR », *Journal of Statistical Software*, n°40(4), pp. 1-37
- Gallopín, G. C. (2006), « Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity », *Global Environmental Change*, n°16, pp. 293-303
- Gallopín, G. C., Gutman, P. et Maletta, H. (1989), « Global impoverishment, sustainable development and the environment, A conceptual approach », *International Social Science Journal*, n°121, pp. 375-397
- Garnaud, B. (2010), *Entre atténuation et adaptation : des approches européennes du changement climatique*, n°19, coll. Grande Europe, La Documentation Française, Paris, 8 p.
- Geary, R. C. (1954), « The Contiguity Ratio and Statistical Mapping », *The Incorporated Statistician*, vol. 5, n° 3, p. 115–145
- Ghezali, M. (2010), « La vie tumultueuse du couple GIZC et gestion des risques naturels et technologiques sur le littoral », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], hors-série 8, octobre 2010, url : <http://vertigo.revues.org/10229>
- GIEC (IPCC) (1994), *Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*, Carter, T. R., Parry, M. L., Harasawa, H. et Nishioka, S. (dir.), University College London, UK and the Centre for Global environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Japon, 59 p.
- GIEC (IPCC) (2000a), « Impacts, Adaptation and Vulnerability », *The Contribution of Working Group II to the Third Scientific Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, url : http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/
- GIEC (IPCC) (2000b), *Utilisation des terres, changements d'affectation et foresterie*, Résumé à l'intention des décideurs, Watson, R. T., Noble, I. R., Bolin, B., Ravindranath, N. H., Verardo, D. J. et Dokken, D. J. (dir.), Rapport spécial, Genève, 30 p.
- GIEC (IPCC) (2001), « Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability », in J. J. McCarthy, O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken et K. S. White, *Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge
- GIEC (IPCC) (2007a), « The Physical Science Basis », in S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor et H. L. Miller (dir.), *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge
- GIEC (IPCC) (2007b), « Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 », in M. L. Parry, O. F. Canziani, J. P. Palutikof, P. J. van der

- Linden et C. E. Hanson (dir.), *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge
- Goiffon, M. (2005), « Le processus de littoralisation dans les départements français d'Amérique et ses modes de gestion territoriale », Thèse soutenue à l'Université de Provence, 344 p.
- Gordon, T. J. et Hayward, H. (1968), « Initial experiments with the cross-impact method of forecasting », in, *Futures*, vol. 1, n°2, pp. 100-116
- Gourmelon, F., Chlous-Ducharme, F., Kerbirou, C., Rouan, M. et Bioret, F. (2013), « Role-playing game developed from a modelling process: A relevant participatory tool for sustainable development? A co-construction experiment in an insular biosphere reserve », *Land Use Policy*, vol. 32, pp. 96-107
- Gourmelon, F., Houet, T., Voiron-Canicio, C., et Joliveau T. (2012), « La géoprospective, apport des approches spatiales à la prospective », *L'espace géographique*, n°2, pp. 97-98
- Gozálvez, V., Larrosa, J. A., Martín-Serrano, G.-A., Palazónand, S. et Ponce, G. (2005) « Les territoires du tourisme littoral et les pouvoirs locaux dans la province d'Alicante (Espagne) », *Rives nord-méditerranéennes*, n°20, pp. 39-62
- Grasland, L. (1994), « L'arc méditerranéen entre une détermination « contextuelle » et un projet territorial multiple », *Méditerranée*, vol 1-2, pp. 71-74
- Grelet, Y. (2002), *Des typologies de parcours. Méthodes et usages*, Notes de travail du Céreq, Centre d'études et de recherches sur les qualifications, n° 20
- Grothmann, T. et Patt, A. (2005), « Adaptive capacity and human cognition: the process of individual adaptation to climate change », *Global Environmental Change*, n°15 (3), pp. 199-213
- Guigo, M. et Le Berre, M. (1989), *Écrire un modèle de simulation systémique, Impact des Aménagements sur le comportement de la nappe phréatique d'une plaine alluviale*, Université Joseph Fourier, coll. Grenoble Sciences, Grenoble, 102 p.
- Guineberteau, T., Meur-Férec, C. et Trouillet, B. (2006), « La gestion intégrée des zones côtières en France : mirage ou mutation stratégique fondamentale ? » *VertigO*, vol. 7, n°3, décembre 2006

– H –

- Haddad, B. M. (2005), « Ranking the adaptive capacity of nations to climate change when socio-political goals are explicit », *Global Environmental Change*, n°15, pp. 165-176
- Haining, R. P. (2003), *Spatial Data Analysis: Theory and Practice*, Cambridge University Press, Cambridge, 452 p.
- Hallegatte, S. (2008), *Adaptation to climate change: do not count on climate scientists to do your work*, Reg-Markets Center, Related Publication, n°8-01, 12 p.
- Hallegatte, S., Somot, S. et Nassopoulos, H. (2008), *Anticiper le changement climatique autour de la Méditerranée*, coll. IPEMED, Série "Notes & Documents", Institut de Prospective Economique du Monde Méditerranéen, Paris, 76 p.
- Henry, C., Barthélemy, P., Billé, R., Gemenne, F., Martimort-Asso, B. et Tubiana, L. (2012), « Incertitudes, probabilités et climato-scepticisme », *Tribune du 18/01/2012*, www.slate.fr
- Hirczak, M., Chevalier, P., Dedeire, M. et Razafimahefa, L. (2011), « Dynamiques rurales et trajectoires démographiques : comparaison France, Italie, Espagne », *L'information géographique*, vol. 75, pp. 68-87

- Holling, C. S. (1973), « Resilience and stability of ecological systems », *Annual Review of Ecology and Systematics*, n°4, pp. 1-23
- Holling, C. S. (1996), « Engineering resilience versus ecological resilience » in P. Schulze (dir.), *Engineering within ecological constraints*, National Academy Press, Washington, D.C., pp. 31-44
- Holling, C. S. (1986), « Resilience of ecosystems; local surprise and global change » in W. C. Clark et R. E. Munn (dir.) *Sustainable Development of the Biosphere*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 292-317
- Holling, C. S. et Gunderson, L. H. (2002), « Resilience and adaptive cycles », in L. H. Gunderson et C. S. Holling, *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*, Island Press, Washington, 536 p.
- Houet, T., Corgne, S., Hubert-Moy, L. et Marchand, J.-P. (2008b), « Approche systémique du fonctionnement d'un territoire agricole bocager », *L'Espace géographique*, vol. 37, n°2, pp. 270-286
- Houet, T., Hubert-Moy, L. et Tyssot, C. (2008a), « Modélisation prospective spatialisée à l'échelle locale : approche méthodologique. Application à la gestion de l'eau en Bretagne », *Revue internationale de géomatique*, vol. 18, no 3, pp. 345-373

– I –

- IDDR, 2008, *Fiche "Incertitudes"*, Projet INVULNERABLE (INDustrial VULNERABILity), 8 p.
- IFEN, 2000, *La pression de la construction ne se relâche pas sur le littoral métropolitain*, Les données de l'environnement, n° 55, 4 p.
- IFEN, 2007, *Le littoral, entre nature et artificialisation croissante*, Les données de l'environnement, n° 120, 4 p.

– K –

- Kelly, P. M. et Adger, W. N. (2000), « Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation », *Climatic Change*, n°47, pp. 325-352

– L –

- Laganier, R., Villalba, B. et Zuindeau, B. (2002), « Le développement durable face au territoire : éléments pour une recherche pluridisciplinaire », *Développement durable et territoires [En ligne]*, Dossier 1 : Approches territoriales du Développement Durable
- Lampin-Maillet, C. (2010), « Caractérisation de la relation entre organisation spatiale d'un territoire et risque d'incendie : le cas des interfaces habitat-forêt du sud de la France », Thèse de Géographie, Faculté des lettres et sciences humaines, Université de Provence Aix-Marseille 1, 325 p.
- Lampin-Maillet, C., Pérez S., Ferrier, J.-P. et Allard, P., (coord.) (2010), *Géographie des interfaces. Une nouvelle vision des territoires*, Quae, 165 p.

- Langlois, A. et Phipps, M. (1997), *Automates cellulaires. Application à la simulation urbaine*, Hermès, coll. Systèmes complexes, Paris, 197 p.
- Langlois, P. (2005a), « Les automates cellulaires pour la modélisation des systèmes spatiaux », in Y. Guermond (dir.), *Modélisations en géographie, Déterminismes et complexité*, Hermès, Lavoisier, 321-352
- Langlois, P. (2005b), « Complexité et systèmes spatiaux, in Modélisations en géographie », in Y. Guermond (dir.), *Modélisations en géographie, Déterminismes et complexité*, Hermès, Lavoisier, pp. 299-320
- Le Berre, M. (1987a), *Les Systèmes montagnards*, La Documentation française, coll. «La Documentation photographique », n° 6090, Paris, 44 p.
- Le Berre M., (1987b), « De l'induction à la modélisation systémique en géographie », Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Franche-Comté, Besançon, 560 p.
- Le Berre, M. et Uvietta, P. (1989), « Vigne et contraintes climatiques : un modèle de simulation », *L'Espace géographique*, n°2, pp. 55-68
- Le Moigne, J.-L. (1999), *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, 178 p.
- Le Treut, H. (2003), « Les scénarios globaux de changement climatique et leurs incertitudes », *Effet de serre, impacts et solutions : quelle crédibilité ?*, Comptes Rendus Géosciences, Académie des Sciences, vol. 335, Paris, pp 525-533
- Le Treut, H. (2013), « Le rapport du GIEC n'est pas catastrophiste », journal Le Monde du 27/09/2013, (article disponible en ligne)
- Lempert, R. J., Schlesinger, M. E. et Bankes, S. (1996), « When We Don't Know the Costs or the Benefits: Adaptive Strategies for Abating Climate Change », *Climatic Change*, n°33, pp. 235-274
- Lempert, R. J. et Light, P. C. (2009), « Evaluating and Implementing Long-Term Decisions », in R. J. Lempert, S. W. Popper, E. M. Daehner, J. A. Dewar, P. C. Light et G. F. Treverton (dir.), *Actes du Colloque Shaping Tomorrow Today*, 105 p.
- Lempert, R. J. et Schlesinger, M. E. (2000), « Robust Strategies for Abating Climate Change », *Climatic Change*, vol.45, n°3-4, pp. 387-401
- Levenshtein, V. (1966), « Binary Codes Capable of Correcting Deletions, Insertions, and Reversals », *Soviet Physics Doklady*, n°10, pp. 707-710
- Lim, B., Spanger-Siegfried, E., Burton, I., Malone, E. L., et Huq, S. (2005), *Adaptation policy frameworks for climate change: Developing strategies, policies, and measures*, UNDP, Cambridge University Press, Cambridge, 258 p.
- Lizard, S. (2013), « Littoralisation de l'Arc Latin : Analyse spatio-temporelle de la répartition de la population à une échelle fine », *Espace, Populations, Sociétés*, n° spécial : Populations et Littoral, n°1-2, pp. 21-40
- Lizard, S. et Voiron-Canicio, C. (2012), « The contribution of mathematical morphology in spatial analysis of aggregated data: home-building evolution in the French Riviera during the twentieth century », *Proceedings of the 15th AGILE International Conference on Geographic Information Science*, pp. 249-254
- Loinger, G. et Dubois, G. (2001), *Le littoral méditerranéen comme espace critique*, TEC: Tourisme, Transports, Territoires, Environnement, Conseil

- Magnan, A. (2008), *L'adaptation, toile de fond du développement durable*, Synthèses Iddri, n°8, 4 p.
- Magnan, A., Garnaud, B., Bille, R., Gemenne, F. et Hallegatte, S. (2009), *La Méditerranée au futur : Des impacts du changement climatique aux enjeux de l'adaptation*, Rapport de synthèse de l'IDDRI en collaboration avec le CIRED, 44 p.
- Magnan, A. (2009), « Proposition d'une trame de recherche pour appréhender la capacité d'adaptation au changement climatique », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], vol. 9, n°3, décembre 2009, url : <http://vertigo.revues.org/9189> ; DOI : 10.4000/vertigo.9189
- Martin, N., Carrega, P. et Adnes, C. (2013), « Downscaling statistique des températures et des précipitations 2071-2100 du modèle ALADIN-Climat pour les scénarios A1B, A2 et B1 dans les Alpes-Maritimes », *Actes du XXVIème colloque AIC*, Cotonou, septembre 2013, pp. 372-377
- Masson-Vincent, M., Dubus, N., Bley, D., Voiron-Canicio, C., Helle, C., Cheylan, J.-P., Douart, P., Douguedroit, A., Ferrier, J.-P., Jacob, F., Lampin, C., Maignant, G. et Piot, J.-Y. (2012), « La Géogouvernance : un concept novateur ? », *Cybergeo*, article 587 url : <http://cybergeo.revues.org/25086>
- Mathevet, R. (2004), *Camargue incertaine*, Buchet/Chastel, Paris, 201 p.
- Maurel, M.-C. (2009), « Penser l'historicité des territoires », in A. Berger, P. Chevalier, G. Cortés et M. Dedeire, *Héritages et trajectoires rurales en Europe*, L'Harmattan, coll. Logiques Sociales, pp. 21-40
- MEDCIE du Grand Sud-est (Mission d'études et de développement des coopérations interrégionale et européenne) (2008), *Étude des effets du changement climatique sur le Grand Sud-est*, Rapport de synthèse général, avec le Cabinet Ecofys, 134 p.
- Meadows, D. (1972), *Limits to growth*, Earth Island Ltd, Londres, 205 p.
- Mercier, D. (2012), « Après Xynthia : vers un repli stratégique et un État fort ? », *Norois*, 1/2012, n° 222, pp. 7-9
- Mertz, O., Halsnæs, K., Olesen, J. E. et Rasmussen K. (2009), « Adaptation to Climate Change in Developing Countries », *Environmental Management*, n°43, pp. 743-752
- Meur-Férec, C. (2007), « La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française. », *Développement durable et territoires* [En ligne], varia, url : <http://developpementdurable.revues.org/4471>
- Meur-Férec, C. (2009), « La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française. », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [en ligne], Hors-série n°5, mai 2009, url : <http://vertigo.revues.org/8331>
- Moine, A. (2003), « Systémogénèse d'un espace de production transfrontalier : le Jura horloger », *Mappemonde*, vol. 4, n°71, pp. 25-30
- Moine, A. (2006), « Le territoire comme un système complexe : un concept opératoire pour l'aménagement et la géographie », *L'espace géographique*, n°2, pp. 115- 132
- Moran, P. (1950) « Notes on Continuous Stochastic Phenomena », *Biometrika* vol.37, n°1, pp.17-23
- Moreno, D., Badariotti, D. et Banos, A. (2012), « Un automate cellulaire pour expérimenter les effets de la proximité dans le processus d'étalement urbain : le modèle Raumus », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systems, Modelling, Geostatistics, document 606, url : <http://cybergeo.revues.org/25353>

Moriconi-Ebrard, F. (2001), *L'urbanisation en Méditerranée de 1950 à 1995*, Les Cahiers du Plan Bleu, Sophia Antipolis, 45 p.

Morin, E. (1985), *La Vie de la vie, La Méthode, tome 2*, Seuil, Paris, 470 p.

Morin, E. (1990), *Introduction à la pensée complexe*, Seuil, Paris, 158 p.

Mousil, M. et Durance, P. (2010), « Martinique 2025 : prospective pour un développement durable », *Territoires 2040*, n° 2, pp. 79-92

– N –

Needleman, S et Wunsch, C. (1970), « A General Method Applicable to the Search for Similarities in the Amino Acid Sequence of Two Proteins », *Journal of Molecular Biology*, n°48, pp. 443-453

Noin, D. (1999), « La population des littoraux du monde », *L'information géographique*, vol. 63, n°2, pp. 65-73

– O –

OCDE (2006), *Progress on adaptation to climate change in developed countries, An analysis of broad trends*, Gagnon-Lebrun, F. et Agrawala, S. (dir.), ENV/EPOC/GSP, n°1, 63 p.

Oliveau, S. (2006), « Les indicateurs locaux d'association spatiale (LISA) comme méthode de régionalisation. Une application en Inde », *Actes du Colloque Théoquant*, 26-28 Janvier 2005, Besançon

ONERC (2008), *Impacts du changement climatique, adaptation et coûts associés en France*, D4E (Direction des Études économiques et de l'Évaluation environnementale), Groupe Interministériel, Document d'étape, juin 2008, 247 p.

– P –

PAP/RAC (Priority Action Program/Regional Activity Centre) (2008), *State of the Art of Coastal and Maritime Planning in the Adriatic Region*, Synthesis Report, PAP/RAC, Split, 58 p.

Papini, L., Rabino, G. A., Colonna, A., Di Stefano, V. et Lombardo, S. (1998). « Learning Cellular Automata in a Real World: The Case Study of the Rome Metropolitan Area », in S. Bandini, R. Serra et F. Suggi Liverani (dir.), *Cellular Automata: Research towards Industry, ACRI'96: Proceedings of the Third Conference on Cellular Automata for Research and Industry*, Springer-Verlag, Londres, pp.165-183

Péguy, C. (1990), « La géographie : une valse à trois temps », *Actes du Colloque Géopoint*, pp. 209-210

Picon, B. (2008), *L'espace et le temps en Camargue*, coll. Essais Sciences, Actes Sud, 301 p.

Pielke, R. A. (1998), « Rethinking the role of adaptation in climate policy », *Global Environmental Change*, vol.8, n°2, pp. 159-170

Parc Naturel Régional de Camargue (2010), *Charte, Objectif 2022*, Rapport Volume 1, 240 p.

Plan Bleu (1989), *Le Plan Bleu : avensirs du bassin méditerranéen*, Grenon, M. et Batisse, M. (dir.), PNUE, Economica, Sophia Antipolis, 442 p.

- Plan Bleu (2000), *Suivi de l'évolution du littoral à partir des données LACOAST. Réflexions méthodologiques pour la Méditerranée. Exemple de la France*, Sophia-Antipolis, 95 p.
- Plan Bleu (2001), *L'étalement urbain en Méditerranée*, rapport du Plan Bleu, 5 p.
- Plan Bleu (2002), *Indicateurs pour le Développement Durable dans les régions côtières méditerranéennes*, Suivi des recommandations de la Commission Méditerranéenne de développement durable, Rapport final, 42 p.
- Plan Bleu (2005), *Méditerranée : les perspectives du Plan Bleu sur l'environnement et le développement*, Benoit, G. et Comeau, A. (dir.), Éditions de l'Aube, 431 p.
- Plan Bleu (2007), *Protéger et valoriser le littoral méditerranéen, bien commun menacé*, Les notes du Plan Bleu, mai 2007, n°6, 4 p.
- Plan Bleu (2008), *Changement climatique et énergie en méditerranée*, Sophia Antipolis, 578 p.
- Plan Bleu (2011a), *Analyse des activités économiques en Méditerranée : secteurs pêche et aquaculture*, Sacchi, J (dir.), 87 p.
- Plan Bleu (2011b), *Adaptation au changement climatique dans le secteur de l'eau en Méditerranée : situation et perspective*, Les Cahiers du Plan Bleu, n° 10, Valbonne
- Prieur, M. (2009), « Conclusion : Rapport de synthèse sur la gestion intégrée des zones côtières », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], hors-série 5, mai 2009, mis en ligne le 11 mai 2009, url : <http://vertigo.revues.org/8428>
- Provitolo, D. (2002), « Risque urbain, catastrophes et villes méditerranéennes », Thèse de géographie, Université Nice-Sophia Antipolis, 365 p.
- Provitolo, D. (2005), « Un exemple d'effets de dominos : la panique dans les catastrophes urbaines », *Cybergeo : European Journal of Geography*, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 328
- Provitolo, D. (2006), « La dynamique des systèmes selon J.W. Forrester », *Hypergéô*, 3 p.
- Pumain, D. (1998a), « La géographie saurait-elle inventer le futur ? » *Revue européenne des sciences sociales*, vol. 36, n°110, pp. 53-69
- Pumain, D. (1998b), « Les modèles d'auto-organisation et le changement urbain », *Cahiers de géographie du Québec*, vol. 42, n° 117, pp. 349-366
- Pumain, P. (2003), « Une approche de la complexité en géographie », *Géocarrefour*, vol. 78, n°1, pp. 25-31
- Pumain, D. (2010) « Une théorie géographique des villes », *Bulletin de la Société géographique de Liège*, n° 55, pp. 5-15

– R –

- Rangheard, M.-S. (2005), « En Paca, les terres agricoles disparaissent », *Transrural initiatives*, n° 279, 22 février 2005, url : <http://www.ruralinfos.org/spip.php?article1528>
- Rappaport, R. A., (1977), « Maladaptation in social systems », in J. Friedman et M. Rowlands, *Evolution of Social Systems*, Duckworth, Londres, pp. 49-71
- Reghezza, M. (2007), *Adaptation (Capacité d'adaptation)*; École de géographie de Chicago ; Écologie humaine ; White, G.F. (1911-2006), in Y. Veyret, *Dictionnaire de l'environnement*, Colin, Paris, pp. 3-4

- Rieucan, J., (2000), « La Grande-Motte, ville permanente, ville saisonnière », *Annales de Géographie*, n° 616, novembre-décembre 2000, Paris, pp. 631-654
- Robert, S. (2009), « La vue sur mer et l'urbanisation du littoral. Approche géographique et cartographique sur la Côte d'Azur et la Riviera du Ponant », Thèse soutenue à l'Université Nice - Sophia Antipolis, 456 p.
- Robette, N. (2011), *Explorer et décrire les parcours de vie: les typologies de trajectoires*, CEPED, Centre Population et Développement, coll. « Les clés pour ... », 86 p.
- Robette, N. et Thibault, N. (2008), « Analyse harmonique qualitative ou méthodes d'appariement optimal ? Une analyse exploratoire de trajectoires professionnelles », *Population*, Vol. 63, n° 4, pp. 621-646
- Rochette, J. (2008), « Subir, dire, agir... Récents développements sur la protection des zones cotières en Italie », *Actes du colloque international pluridisciplinaire « Le littoral : subir, dire, agir »*, 16-18 janvier 2008, Lille, France, 9 p.
- Rochette, J., 2011 « Des relations État-régions dans la politique littorale italienne », *Méditerranée*, 2/2010, n°115, pp. 21-32 url : www.cairn.info/revue-mediterranee-2010-2-page-21.htm.
- Rochette, J., Wemaëre, M., Billé, R. et du Puy-Montbrun, G. (2012), *Une contribution à l'interprétation des aspects juridiques du Protocole sur la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée*, PNUE, PAM, CAR/PAP, 78 p.
- Roux, M. (1993), « Classification des données d'enquêtes », in D. Grange et L. Lebart (dir.), *Traitements statistiques des enquêtes*, Dunod, 255 p.
- Ruiz, J. J. (2009), « Vers la gestion intégrée des zones côtières en Espagne : état des lieux », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], hors-série 5, mai 2009, url : <http://vertigo.revues.org/8374> ; DOI : 10.4000/vertigo.8374

- S -

- Sacareau, I. (1999), « Les espaces touristiques du littoral méditerranéen », in L. Marrou et I. Sacareau (dir.), *Les espaces littoraux dans le monde*, Géophrys, coll. Documents, 200 p.
- Sanders, P. et Sanders, F. (2004), « Spatial Urban dynamics. A vision of the future of urban dynamics: Forrester revisited », *22nd International Conference of the System Dynamics Society*, Oxford, 32 p.
- Scovazzi, T. (2009), « La gestion de la zone cotière d'après le droit italien », *VertigO, la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], hors-série 5, mai 2009, url : <http://vertigo.revues.org/8236>
- Simonet, G. (2009), « Le concept d'adaptation : polysémie interdisciplinaire et implication pour les changements climatiques », *Natures Sciences Sociétés*, vol. 17, n° 4, pp. 392-401 url : www.cairn.info/revue-natures-sciences-societes-2009-4-page-392.htm
- Simonet, G. (2011), « Enjeux et dynamiques de la mise en œuvre de stratégies d'adaptation aux changements climatiques en milieu urbain : les cas de Montréal et Paris », Thèse de Sciences de l'Environnement, Institut des sciences de l'environnement, Université du Québec à Montréal, 301 p.
- Smeets, E. et Weterings, R. (1999), *Environmental indicators: Typology and overview*, Technical report, 25, European Environment Agency, url : <http://www.eea.europa.eu/publications/TEC25>.
- Smit, B., Burton, I., Klein, R. J. T. et Wandel, J. (2000), « An anatomy of adaptation to climate change and variability », *Climatic Change*, n°45, pp. 223-251

Smit, B. et Pilifosova, O. (2001), « Adaptation to Climate Change in the Context of Sustainable Development and Equity » in J. J. McCarthy, O. F. Canzianni, N. A. Leary, D. J. Dokken et K. S. White (GIEC), *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability - Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, pp. 877-912

Smit, B. et Wandel, J. (2006), « Adaptation, adaptive capacity and vulnerability », *Global Environmental Change*, n° 16, pp. 282-292

Swerts, E. et Pumain, D. (2013), « Approche statistique de la cohésion territoriale : le système de villes en Inde », *L'Espace géographique*, Tome 42, pp. 77-92

– T –

Taché, A. (2005), « Principes d'une sociologie d'intervention complexe : la médiation », L'Harmattan, coll. Pratique De La Systémique, 256 p.

TERI (The Energy and Resources Institute) (2005), *Adaptation to Climate Change in the context of Sustainable Development, Background paper*, url : <http://www.teriin.org/events/docs/adapt.pdf> 28 p.

Tobler, W. (1970), « A computer movie simulating urban growth in the Detroit region », *Economic Geography*, vol. 46, n°2, pp. 234-240

Tobler, W. (1979), « Cellular Geography », in S. Gale et G. Ollson, *Philosophy in Geography*, Kluwer, Dordrecht, pp. 379-386

Tol, R. S. J. et Yohe, G. W. (2007), « The weakest link hypothesis for adaptive capacity: An empirical test », *Global Environmental Change*, n° 17, pp. 218-227

Tubiana, L., Gemenne, F. et Magnan, A. (2010), *Anticiper pour s'adapter, Le nouvel enjeu du changement climatique*, coll. Les temps changent, Ed. Pearson, 216 p.

– V –

Van Aalast, M. K., Cannon, T. et Burton, I. (2008), « Community level adaptation to climate change: The potential role of participatory community risk assessment », *Global Environmental Change*, n° 18, pp. 165-179

Verger, F. (2011), « Dignes et polders littoraux : réflexions après la tempête Xynthia », *Physio-Géo* [En ligne], vol. 5, mis en ligne le 21 juin 2011, url : <http://physio-geo.revues.org/1740>

Vidal De La Blache, P. (1922), *Principes de géographie humaine*, Colin, Paris, 328 p.

Voiron-Canicio, C. (1993), « Espace, structures et dynamiques régionales - l'Arc Méditerranéen », Thèse d'Etat en Géographie, Revue de Géographie du laboratoire d'analyse spatiale Raoul Blanchard, Université de Nice - Sophia Antipolis, 306 p.

Voiron-Canicio, C. (1994), « Limites et différenciations spatiales sur les rivages sud-européens », in Guellec, A. (dir.), *La région européenne, La marge de manœuvre*, Actes du colloque de Rome, Le Fait Départemental, Presses Universitaires de Rennes

Voiron-Canicio, C. (1999), « Urbanisation et littoralisation sur les rives de la Méditerranée », in O. Sevin, *Les Méditerranées dans le monde, Cahiers scientifiques de l'Université d'Artois*, Artois Presses Universités, pp. 103-112

- Voiron-Canicio, C. (2005), « Pour une approche systémique du développement durable », *Développement durable et territoires [En ligne]*, Dossier 4, url : <http://developpementdurable.revues.org/261>
- Voiron-Canicio, C. (2006), « L'espace dans la modélisation des interactions nature-société », *Actes du colloque international « Interactions nature-société, analyse et modèles »*, La Baule, 6 p.
- Voiron-Canicio, C. (2012), « L'anticipation du changement en prospective et des changements spatiaux en géoprospective », *L'espace géographique*, n°2, pp. 99-110
- Voiron-Canicio, C. (2013), « Déceler les espaces à enjeux pour l'aménagement de territoires durables », in Masson-Vincent, M. et Dubus, N. (dir.), *Géogouvernance, Utilité sociale de l'analyse spatiale*, coll. Update Sciences et Technologies, Éditions Quæ, pp. 171-182
- Voiron-Canicio, C., Arteau, K., Sant, F. et Tortorollo, N. (2013), « Assessing possible changes in a town's buildings, Fuzzy logic and 3D simulation applied to the city of Nice », 18th European Colloquium in Theoretical and Quantitative Geography, Dourdan, 18 p.
- Voiron-Canicio, C. et Chéry, J.-P. (2005), « Espace géographique, spatialisation et modélisation en Dynamique des Systèmes », *Res-Systemica*, n° 5, 10 p.
- Voiron-Canicio, C., Dubus, N., Loubier, J.-C. et Liziard, S. (2009), « Evaluer les impacts du changement climatique sur le fonctionnement d'une aire urbaine littorale : outils d'aide à la réflexion et d'aide à la décision existants », Fifth Urban Research Symposium 2009 : Cities and Climate Change, 28-30 juin 2009, Marseille, 21p.
- Voiron-Canicio, C. et Liziard, S. (2008), « Interactions between Coastal Urban Dynamics and Agricultural Areas of the Côte d'Azur: Stakes and Processes », *Proceedings of the 9th international conference Littoral 2008*
- Von Neumann, J. et Burks, A. (1966), *Theory of Self-Reproducing Automata*, University of Illinois Press, Chicago, 388 p.

– W –

- Wackermann, G. (1998a), « Le Plan d'Action pour la Méditerranée », in G. Wackermann, C. Huetz de Lempis et J.-P. Husson (dir.), *Plan Bleu : la littoralisation, dans Géographie humaine des littoraux maritimes*, Les Dossiers du Capes et de l'Agrégation, Ellipses, 508 p.
- Wackermann, G. (1998b), « La notion d'arrière-pays. Le cas de l'Est des Alpes-Maritimes », in G. Wackermann, C. Huetz de Lempis et J.-P. Husson (dir.), *Géographie humaine des littoraux maritimes*, Les Dossiers du Capes et de l'Agrégation, Ellipses, 508 p.
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. et Kinzig, A. (2004), « Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems », *Ecology and Society*, n° 9, vol. 2 [En ligne] url : <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5>
- White, R. et 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
- Williams, W. T. et Lance, G. N. (1965), « Logic of computer-based intrinsic classifications », *Nature*, vol. 207 n°4993, pp.159-161
- Wolfram, S. (1984), « Cellular automata: A Model of Complexity », *Nature*, vol.31, pp. 419-424

– **Y** –

Yohe, G. et Tol, R. S. J. (2002), « Indicators for social and economic coping capacity: moving toward a working definition of adaptive capacity », *Global Environmental Change*, n°12, pp. 25-40

– **Z** –

Zadeh, L. A. (1965), « Fuzzy sets », *Information and Control*, n° 8, pp. 338-353

Zaninetti, J. M. (2005), « Statistique spatiale, méthodes et applications géomatiques », coll. application des SIG, Hermes Science, Lavoisier, 320 p.

Table des figures

Figure I-1. Les agglomérations des régions littorales méditerranéennes en 1950 et en 1995 (Moriconi-Ebrard 2001).....	19
Figure I-2. Carte des taux d'accroissement naturel par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011).....	20
Figure I-3. Carte des taux nets de migration par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011)	21
Figure I-4. Carte des taux d'accroissement démographique par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011).....	22
Figure I-5. Composantes nationale et internationale du solde migratoire par région NUTS 2 entre 2000 et 2007 (ESPON 2013).....	23
Figure I-6. Carte des densités de population par région NUTS 3 en 2008 (Eurostat 2011)	25
Figure I-7. Evolution de l'occupation des sols sur une bande côtière de 10 km dans la région de Marbella-Malaga entre 1975 et 1990 (données issues du programme européen "Lacoast" Plan Bleu 2001).....	39
Figure I-8. Modélisation conceptuelle : graphe causal des relations entre les deux sous-systèmes spatiaux de la Côte d'Azur (Voiron-Canicio 2006).....	41
Figure I-9. Etapes du processus de littoralisation.....	43
Figure I-10. Etapes de l'étalement urbain (Enault 2003, p.119).....	43
Figure I-11. L'organisation régionale de l'Arc Latin (reproduction simplifiée de Voiron-Canicio 1993)	44
Figure I-12. Typologie des régions côtières de l'Arc Latin selon le degré d'urbanisation et la qualité environnementale (Cori 1999, p. 339).....	46
Figure I-13 : Occupation du sol sur la côte des Alpes-Maritimes en fonction de la distance au rivage (1975-1990) (Voiron-Canicio et Liziard 2008, sur le même modèle que Plan Bleu 2000).....	49
Figure I-14. Occupation du sol sur la côte des Alpes-Maritimes en fonction de la distance au rivage (1990-2000) (Voiron-Canicio et Liziard 2008)	50
Figure I-15. Hiérarchisation de l'image gradient des valeurs communales de construction de logements sur la Côte d'Azur (Liziard et Voiron-Canicio 2012).....	52
Figure I-16. La problématique de l'urbanisation littorale, une synthèse (Robert 2009).....	54
Figure I-17. Exposition des régions européennes à l'érosion côtière (Commission Européenne 2004).....	56
Figure I-18. Interrelations entre littoralisation et changement climatique	58
Figure I-19. Exemples de mesure d'adaptation par secteur (GIEC 2007b).....	66
Figure I-20. Structure de l'indice de vulnérabilité sociale agrégé appliqué aux pays africains (Adger et Vincent 2005)	71
Figure I-21. Cadre d'orientation pour l'adaptation (Lim <i>et al.</i> 2005)	75
Figure I-22. Les approches "top-down" et "bottom-up" utilisées pour informer les politiques d'adaptation (Bertrand et Simonet 2012, adapté de Dessai et Hulme 2004)	77
Figure I-23. Cumul et renforcement des pressions sur les littoraux de l'Arc Latin	79
Figure II-1. La boucle de rétroaction liant les composantes du système territorial (Moine 2006).....	86
Figure II-2. Relations entre espaces et sociétés (Durand-Dastès 1991)	87
Figure II-3. Ensemble des communes de l'Arc Latin situées à moins de 40 km du littoral.....	99
Figure II-4. Les regroupements de provinces et de départements	100
Figure II-5. Les 39 zones d'étude créées pour l'analyse des trajectoires de littoralisation de l'Arc Latin	101
Figure II-6. Organisation des travaux de recherche du programme CAMPLAN.....	121
Figure II-7. Positionnement adopté et architecture du projet de recherche.....	124
Figure III-1. Evolution de la population de l'Arc Latin par pays.....	128
Figure III-2. Taux de croissance démographique entre 1960 et 2010 des 39 aires d'étude.....	129
Figure III-3. Taux de croissance démographique des communes de l'Arc Latin entre 1960 et 2010	129
Figure III-4. Densités de population des communes de l'Arc Latin à la fin de la décennie 2000.....	130
Figure III-5. Partition de l'aire d'étude en quatre bandes de 10 km de largeur parallèles au rivage... ..	131

Figure III-6. Evolution de la part de population présente dans chaque bande pour l’Arc Latin	132
Figure III-7. Evolution des densités de population de l’Arc Latin selon la distance à la côte	132
Figure III-8. Profil 1 (exemple : Alicante).....	133
Figure III-9. Profil 2 (exemple : Cadix)	134
Figure III-10. Profil 3 (exemple : Alpes-Maritimes).....	135
Figure III-11. Profil 4 (exemple : Grosseto).....	135
Figure III-12. Profil 5 (exemple : Viterbe)	136
Figure III-13. Les profils d’évolution de distribution de la population sur l’Arc Latin	137
Figure III-14. Profil d’évolution de la distribution de la population de Malaga	138
Figure III-15. Profil d’évolution de la distribution de la population de Cosenza et Crotona	138
Figure III-16. Profil d’évolution de la distribution de la population de Lucques.....	139
Figure III-17. Profil d’évolution de la distribution de la population de Caltanissetta, Agrigente, Palerme, et Trapani.....	139
Figure III-18. Profil d’évolution de la distribution de la population des Baléares	140
Figure III-19. Profil d’évolution de la distribution de la population de Corse du Sud et Haute Corse	141
Figure III-20. Profil d’évolution de la distribution de la population du Var.....	142
Figure III-21. Profil d’évolution de la distribution de la population de Gênes	142
Figure III-22. Profil d’évolution de la distribution de la population de La Spezia et Massa-Carrara .	143
Figure III-23. Profil d’évolution de la distribution de la population de Latina et Rome.....	144
Figure III-24. Exemples illustrant chacune des neuf grandes configurations spatiales des dynamiques de peuplement (à partir du calcul des LISA).....	151
Figure III-25. Exemples de petit pôle littoral latéral (a-lat), de frange littorale latérale (b-lat) et de zone rétro-littorale latérale (c-lat)	153
Figure III-26. Exemples d’aire littorale latérale (d-lat), de grande région littorale latérale (e-lat) et de grande région rétro-littorale latérale (f-lat).....	154
Figure III-27. Tapis des séquences des 39 aires d’étude	155
Figure III-28. Dendrogramme issu de la classification des évolutions spatiales des dynamiques de peuplement des 39 aires d’étude.....	159
Figure III-29. Evolutions de l’inertie intra-classe avec l’augmentation du nombre de classes d’évolution spatiale des dynamiques de peuplement	160
Figure III-30. Evolution de l’inertie interclasse (en % de l’inertie totale) avec l’augmentation du nombre de classes d’évolution spatiale des dynamiques de peuplement	160
Figure III-31. Les sept classes de trajectoires	162
Figure III-32. Exemple de la classe 1 : le Var	163
Figure III-33. Exemple de la classe 2 : Grosseto.....	164
Figure III-34. Exemple de la classe 3 : Castellón.....	165
Figure III-35. Exemple de la classe 4 : Gênes.....	166
Figure III-36. Exemple de la classe 4 : Alicante	167
Figure III-37. Exemple de la classe 5 : Sassari	168
Figure III-38. Exemple de la classe 6 : Alpes-Maritimes	169
Figure III-39. Exemple de la classe 7 : Barcelone.....	170
Figure III-40. Exemple de la classe 7 : Gard et Hérault.....	171
Figure III-41. Carte des classes d’évolution spatiale des dynamiques de peuplement sur l’Arc Latin	173
Figure IV-1. Croisement des deux classements et nombre d’aires d’étude relatif à chaque association	181
Figure IV-2. Directions des trajectoires correspondant à chaque association d’une classe d’évolution spatiale des dynamiques de peuplement avec un type de profil spatio-temporel de distribution de la population.....	185
Figure IV-3. Directions des trajectoires de peuplement des 39 aires d’étude	189
Figure IV-4. Structuration des densités de population en fonction de l’altitude	192
Figure IV-5. Densité des bandes parallèles au rivage des 39 aires d’étude à la dernière date de recensement étudiée (2008 pour l’Espagne et l’Italie, 2009 pour la France)	194
Figure IV-6. Altitude des bandes parallèles au rivage des 39 aires d’étude	195
Figure IV-7. Caractérisation de la stabilité des trajectoires.....	200
Figure IV-8. Démarche d’identification des espaces à enjeux	212

Figure IV-9. Les espaces moteurs de la densification avec l'orientation et l'instabilité de leur trajectoire.....	213
Figure IV-10. Les espaces saturés et les espaces proches de la saturation	216
Figure IV-11. Mise en évidence des trajectoires fortement évolutives spatialement (latéralement et vers l'intérieur des terres)	219
Figure IV-12. Mise en évidence des situations potentielles de déploiement intérieur anticipé et d'anthropisation continue des littoraux	220
Figure IV-13. Les espaces potentiels de déploiement intérieur	223
Figure IV-14. Les espaces à enjeux : carte de synthèse.....	224
Figure V-1. Diagramme causal développé dans Voiron-Canicio <i>et al.</i> 2009.....	238
Figure V-2. Architecture générale de SIMURB (Langlois et Phipps 1997)	240
Figure V-3. Démarche d'analyse de l'adaptabilité de territoires fictifs, articulant automate cellulaire et modèle en dynamique des systèmes	241
Figure V-4. Configuration initiale 2 : ville littorale compacte	244
Figure V-5. Configuration initiale 2 : ville littorale mitée	244
Figure V-6. Voisinages de la cellule grisée pour des distances euclidiennes de valeur 1, 2 et 3	246
Figure V-7. Evolution du modèle compact selon le scénario non-interventionniste (zoom).....	247
Figure V-8. Evolution du modèle éclaté selon le scénario non-interventionniste (zoom).....	248
Figure V-9. Evolution des différents types de bâti (modèle compact, scénario non-interventionniste)	249
Figure V-10. Evolution des différents types de bâti (modèle éclaté, scénario non-interventionniste)	249
Figure V-11. Espaces agricoles et littoraux protégés (zoom)	250
Figure V-12. Evolution du modèle compact selon le scénario interventionniste (zoom)	252
Figure V-13. Evolution du modèle éclaté selon le scénario interventionniste (zoom)	253
Figure V-14. Evolution des différents types de bâti (modèle compact, scénario interventionniste) ...	254
Figure V-15. Evolution des différents types de bâti (modèle éclaté, scénario non-interventionniste)	254
Figure V-16. Diagramme causal.....	256
Figure V-17. Evolution de la réserve en eau selon les scénarios A2 et B1 (sans consommation d'eau)	258
Figure V-18. Situations à risque (scénario A2 interventionniste à partir du modèle compact)	259
Figure V-19. Evolution des consommations d'eau pour les scénarios non-interventionniste et interventionniste, à partir du modèle urbain compact (projection climatique B1)	261
Figure V-20. Evolution des consommations d'eau pour les scénarios non-interventionniste et interventionniste, à partir du modèle urbain éclaté (projection climatique A2)	262
Figure V-21. Extrait du diagramme causal avec système d'alerte instaurant des restrictions de la consommation des activités agricoles et de la population.....	265
Figure V-22. Extrait du diagramme causal avec variables de réduction de la consommation d'eau... ..	267
Figure V-23. Comparaison de l'apparition des situations à risque en fonction des mesures d'adaptation (scénario A2 modèle compact).....	268
Figure V-24. Comparaison de l'apparition des situations à risque en fonction des mesures d'adaptation (scénario B1 modèle mité)	269
Figure V-25. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau des types d'habitat (modèle éclaté, A2, interventionniste) avec et sans instauration précoce d'une utilisation économe de l'eau.....	270
Figure V-26. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau des types d'habitat (modèle compact, A2, interventionniste) avec et sans instauration précoce d'une utilisation économe de l'eau	271
Figure V-27. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau des types d'habitat avec instauration tardive d'une utilisation économe de l'eau pour le modèle compact et le modèle éclaté (scénario A2, interventionniste).....	273
Figure V-28. Nouveaux espaces agricoles protégés (zoom).....	274
Figure V-29. Evolution du modèle compact au pas de temps 200 selon le nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d'eau (zoom).....	276
Figure V-30. Evolution du modèle éclaté au pas de temps 200 selon le nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d'eau (zoom).....	276

Figure V-31. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau du premier scénario interventionniste et du nouveau scénario interventionniste pour le modèle compact (projections climatiques B1).....	278
Figure V-32. Comparaison de l'évolution des consommations d'eau du premier scénario interventionniste et du nouveau scénario interventionniste pour le modèle éclaté (projections climatiques A2).....	279
Figure V-33. Evolution du modèle compact au pas de temps 200 avec l'urbanisation des espaces agricoles et naturels en bâti de type mixte (zoom)	282
Figure V-34. Evolution du modèle éclaté au pas de temps 200 avec l'urbanisation des espaces agricoles et naturels en bâti de type mixte (zoom)	282
Figure V-35. Evolution des consommations d'eau pour le modèle compact (projections climatiques B1) selon le nouveau scénario interventionniste renforcé.....	283
Figure V-36. Evolution des consommations d'eau pour le modèle éclaté (projections climatiques A2) selon le nouveau scénario interventionniste renforcé.....	283
Figure V-37. Architecture générale de l'environnement de simulation (Voiron-Canicio <i>et al.</i> 2009).	291
Figure VI-1. Situation générale du terrain d'étude (source : rapport final CAMPLAN, Allouche <i>et al.</i> 2012).....	297
Figure VI-2. Démarche mise en place pour l'analyse de l'adaptabilité du système camarguais.....	302
Figure VI-3. Diagramme causal des relations entre critères d'adaptabilité et éléments du système camarguais (partie 1)	318
Figure VI-4. Diagramme causal des relations entre critères d'adaptabilité et éléments du système camarguais (partie 2)	319
Figure VI-5. Diagramme causal de l'organisation des critères d'adaptabilité	321

Table des tableaux

Tableau 1. Composition des périodes d'analyse selon les recensements de la population existants.....	98
Tableau 2. Matrice des coûts de substitution.....	158
Tableau 3. Les six grandes directions des trajectoires résultant de la combinaison de leur origine et de leur orientation	184
Tableau 4. Les trois niveaux de densité et de contrainte topographique définissant les possibilités de densification et le stade des trajectoires	193
Tableau 5. Combinaison des stades de deux bandes pour définir le stade de l'ensemble.....	194
Tableau 6. Stade des trajectoires de direction A (depuis le littoral vers le littoral)	195
Tableau 7. Stade des trajectoires de direction B (depuis le littoral vers une zone latérale) ...	196
Tableau 8. Stade des trajectoires de direction C (depuis le littoral élargi vers une zone latérale)	196
Tableau 9. Stade des trajectoires de direction E (depuis le littoral vers l'intérieur des terres)	197
Tableau 10. Stade des trajectoires de direction D (depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur).....	198
Tableau 11. Stade des trajectoires de direction F (depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres)	198
Tableau 12. Valeurs de l'indicateur de vitesse des évolutions spatiales	203
Tableau 13. Discrétisation des taux de croissance de la population en sept classes	203
Tableau 14. Vitesses des trajectoires de direction A « depuis le littoral vers le littoral » (bande 0-10km)	204
Tableau 15. Vitesses des trajectoires de direction D « depuis le littoral et l'intérieur vers le littoral et l'intérieur » (bande 0-10 et 30-40 km).....	204
Tableau 16. Vitesses des trajectoires de direction F « depuis l'intérieur des terres vers l'intérieur des terres » (bande 30-40 km)	204
Tableau 17. Vitesses des trajectoires de direction C « depuis le littoral élargi vers une zone latérale » (bande 0-10 et 10-20 km)	205
Tableau 18. Vitesses des trajectoires de direction B « depuis le littoral vers une zone latérale » (bande 0-10 km)	205
Tableau 19. Vitesses des trajectoires de direction E « depuis le littoral vers l'intérieur des terres » (bande 0-10 et 10-20 km)	206
Tableau 20. Une absence de relation entre vitesse d'évolution des dynamiques spatiales et vitesse d'évolution des taux de croissance	208
Tableau 21. Élaboration d'une échelle temporelle de la saturation des espaces par croisement des stades et des vitesses de croissance de la population	215
Tableau 22. Présentation des principaux symboles du module graphique du logiciel Stella (Provitolo 2006)	237
Tableau 23. Présentation des fonctions d'interaction employées.....	243
Tableau 24. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie du scénario sans intervention.....	245
Tableau 25. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie du scénario avec intervention.....	251
Tableau 26. Consommation d'eau par habitant et par trimestre en m ³ pour les différents types d'habitat.....	257

Tableau 27. Huit simulations issues de la combinaison de 2 fois 2 scénarios et de deux configurations spatiales initiales	258
Tableau 28. Nombre de situations à risque pour le scénario non-interventionniste.....	260
Tableau 29. Nombre de situations à risque pour le scénario interventionniste	260
Tableau 30. Résultats des mesures de restriction pour un seuil d’alerte de 100 000 000 m ³ . 265	
Tableau 31. Résultats des mesures de restriction pour un seuil d’alerte de 75 000 000 m ³ ...	266
Tableau 32. Résultats des mesures de restriction pour un seuil d’alerte de 50 000 000 m ³ ...	266
Tableau 33. Résultats des mesures de réduction de la consommation d’eau pour la transition plus précoce.....	268
Tableau 34. Résultats des mesures de réduction de la consommation d’eau pour la transition plus tardive	272
Tableau 35. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie du nouveau scénario interventionniste tournée vers les activités moins consommatrices d’eau	275
Tableau 36. Nombre d’habitants à t+200 (année 2060) pour les différents scénarios d’aménagement	277
Tableau 37. Nombre de situations à risque pour le nouveau scénario interventionniste tourné vers les activités moins consommatrices d’eau.....	277
Tableau 38. Paramétrage des règles de transition et des durées de vie avec les nouvelles règles de transition des espaces agricoles et naturels en bâti de type mixte	281
Tableau 39. Nombre de situations à risque pour le nouveau scénario interventionniste renforcé	284
Tableau 40. Consommation moyenne par habitant en m ³ à l’été 2060 pour les trois scénarios interventionnistes (projections A2)	284
Tableau 41. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté	285
Tableau 42. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté, avec une transition tardive	286
Tableau 43. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté, avec une transition précoce.....	286
Tableau 44. Nombre de situations à risque pour les scénarios interventionnistes et les périodes de transition les plus en adéquation avec les modèles compact et éclaté, avec une restriction au-dessous du seuil d’alerte de 75 000 000 m ³	286
Tableau 45. Stratégie de développement et d’adaptation au changement climatique de chacun des deux espaces fictifs	287
Tableau 46. Liste des éléments du diagramme causal et numéros identifiants	317

Annexes

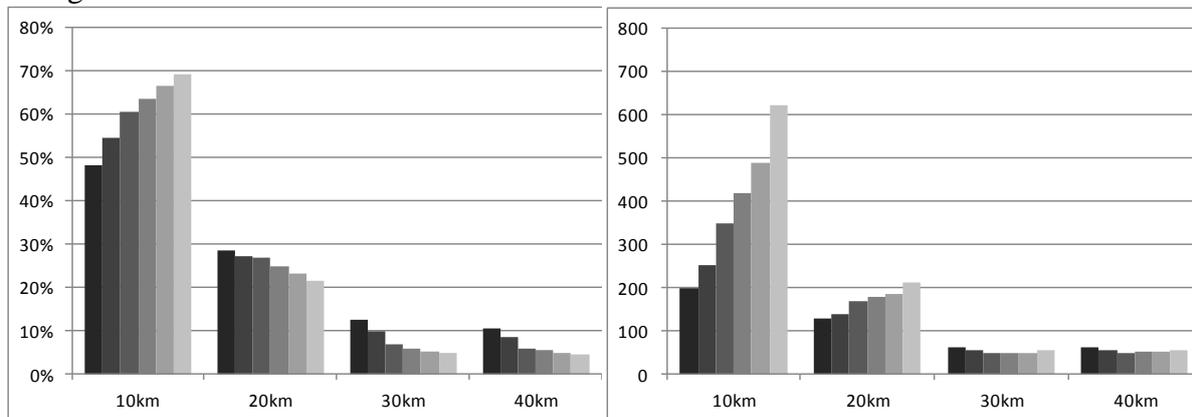
Annexe 1. Profils de distribution de la population conditionnellement au trait de côte

Evolution de la distribution de la population en fonction de la distance au rivage ■ 1960 ■ 1970 ■ 1980 ■ 1990 ■ 2000 ■ 2010	
Part de population présente dans chaque bande (% de la population totale)	Densité de population (hab./km ²)

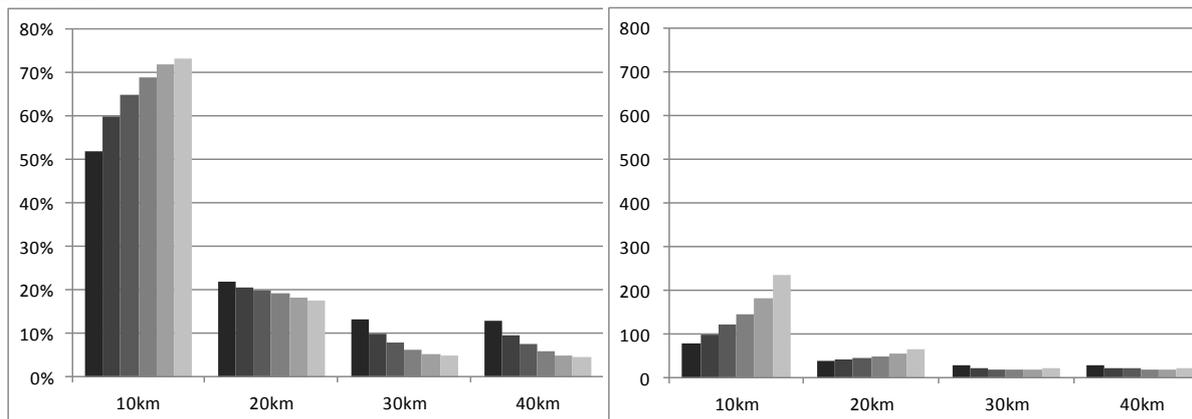
Profil 1 : Concentration de la population dans la bande 0-10 km (17 aires d'étude)

- Premier sous-ensemble du profil 1 :

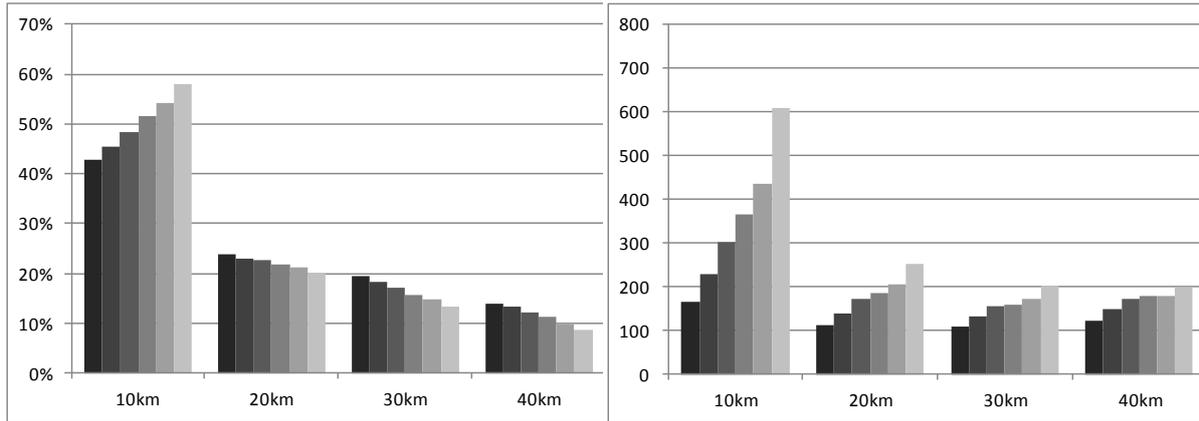
Malaga



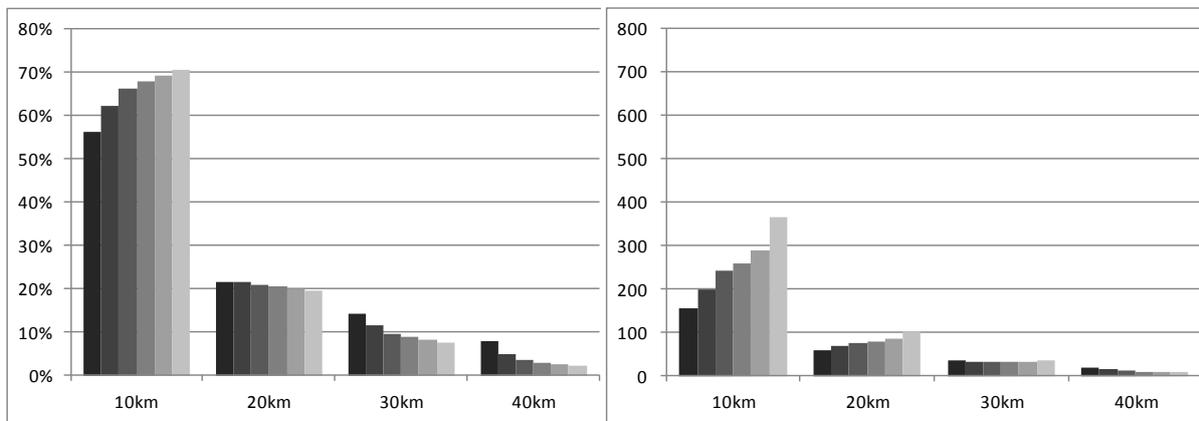
Almeria



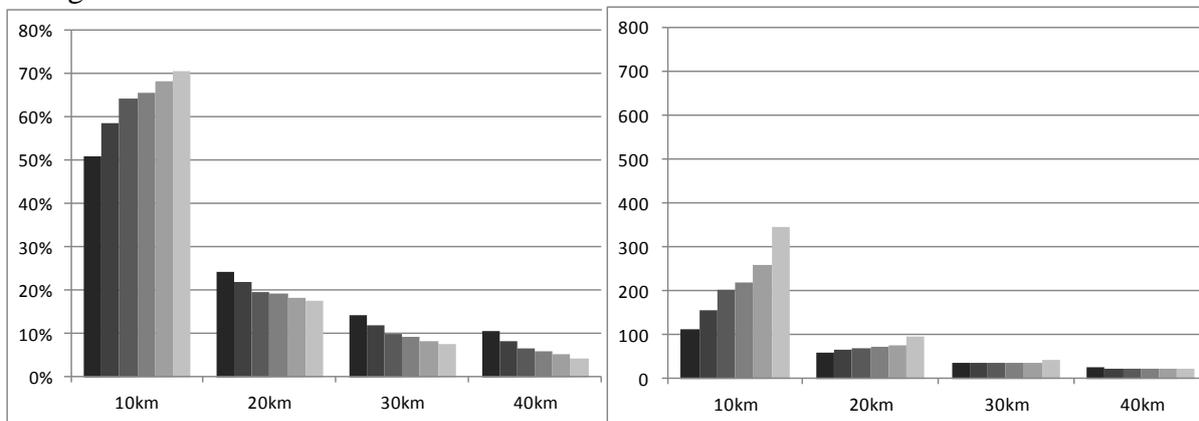
Alicante



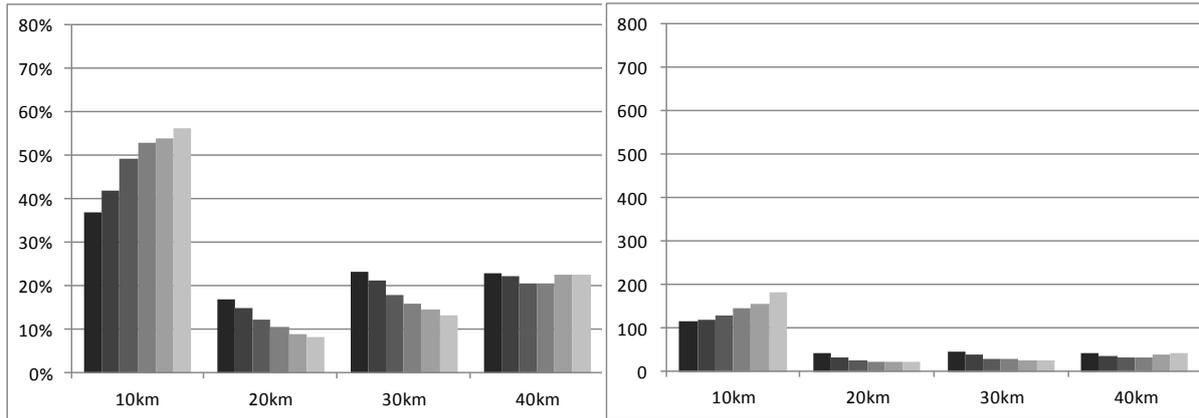
Castellón



Tarragona

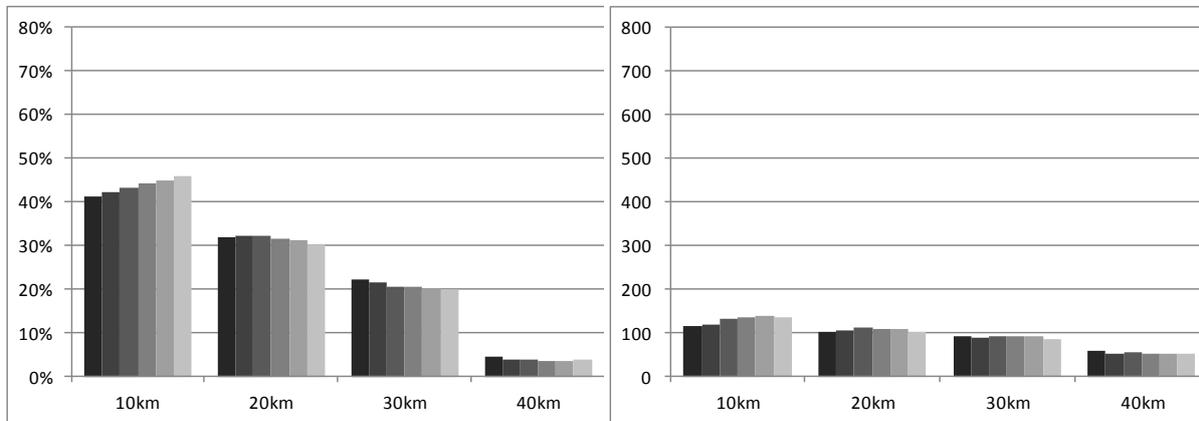


Grenade

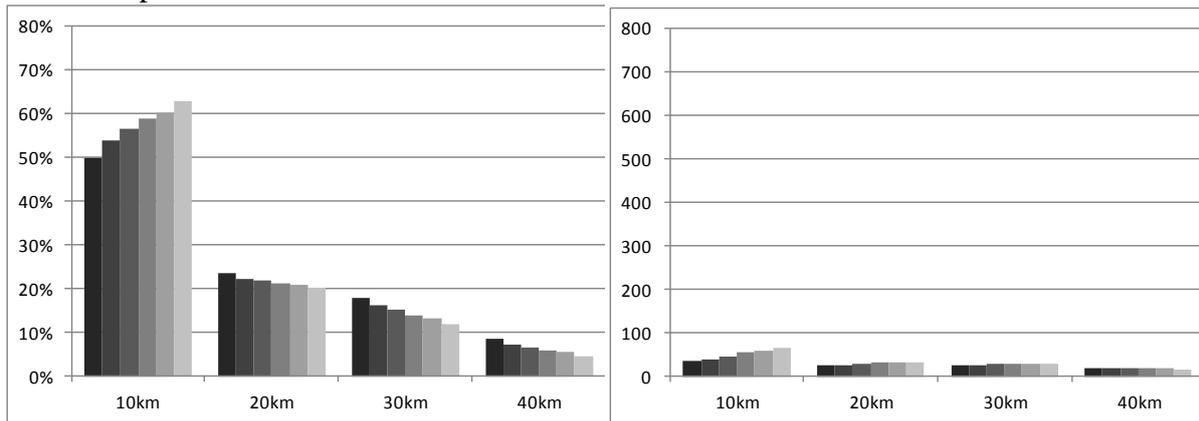


- Deuxième sous-ensemble du profil 1 :

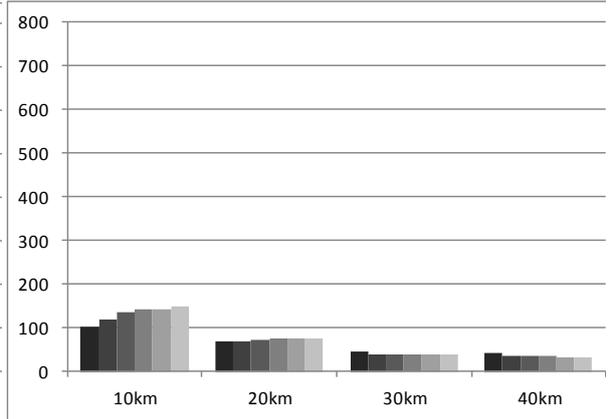
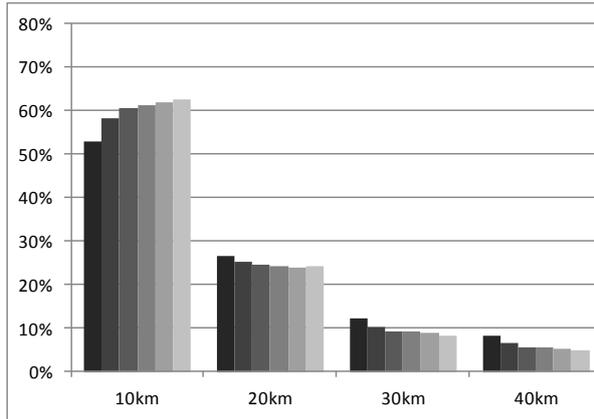
Cosenza et Crotona



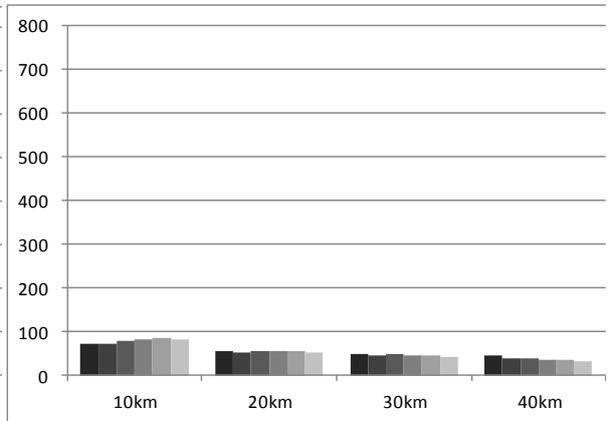
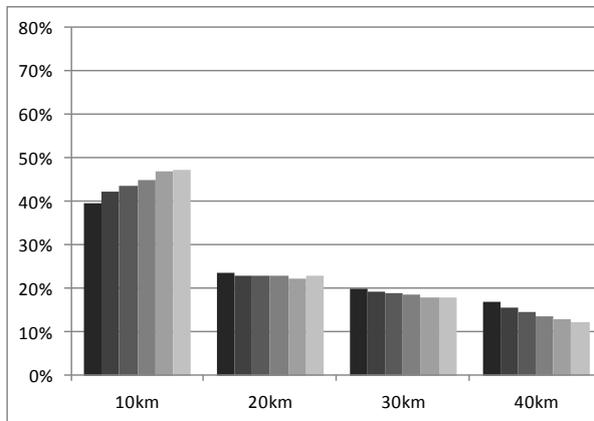
Olbia-Tempio



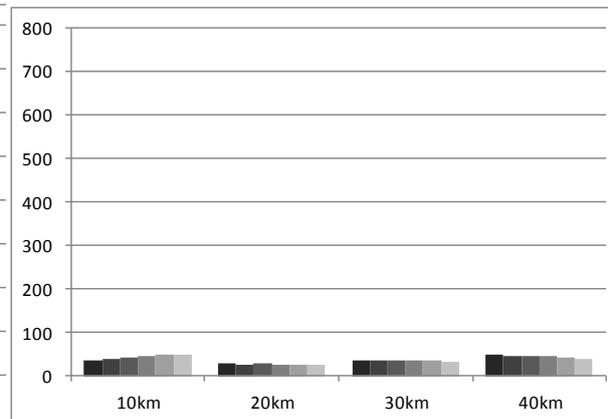
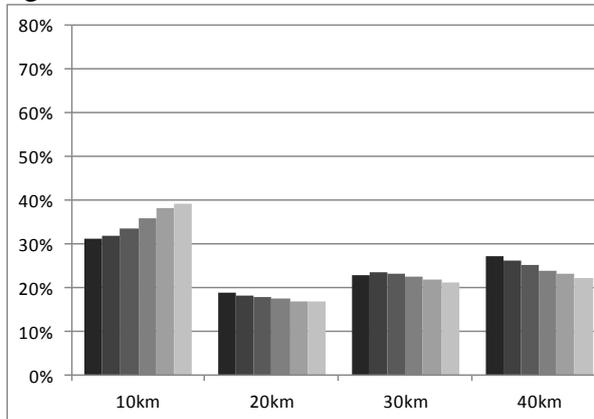
Sassari



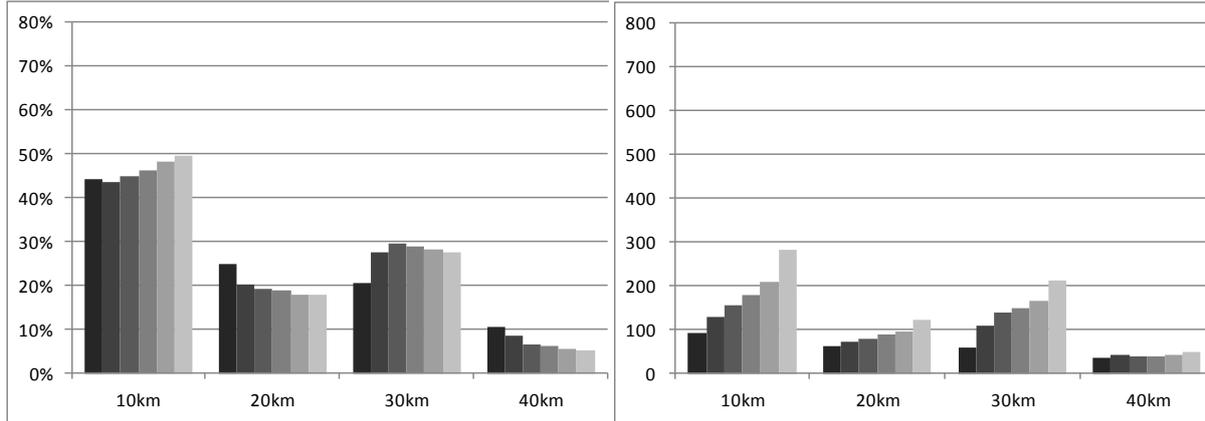
Oristano



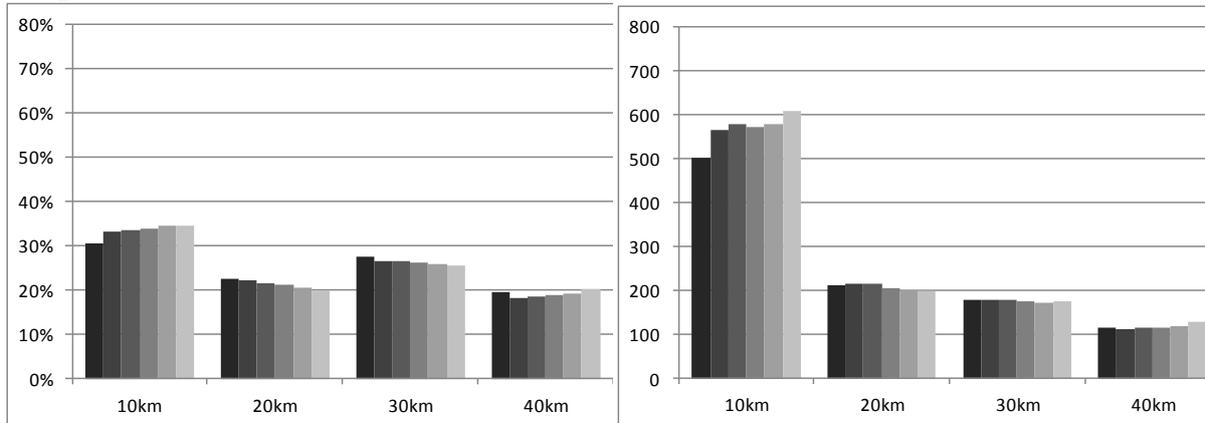
Ogliastra et Nuoro



Gérone

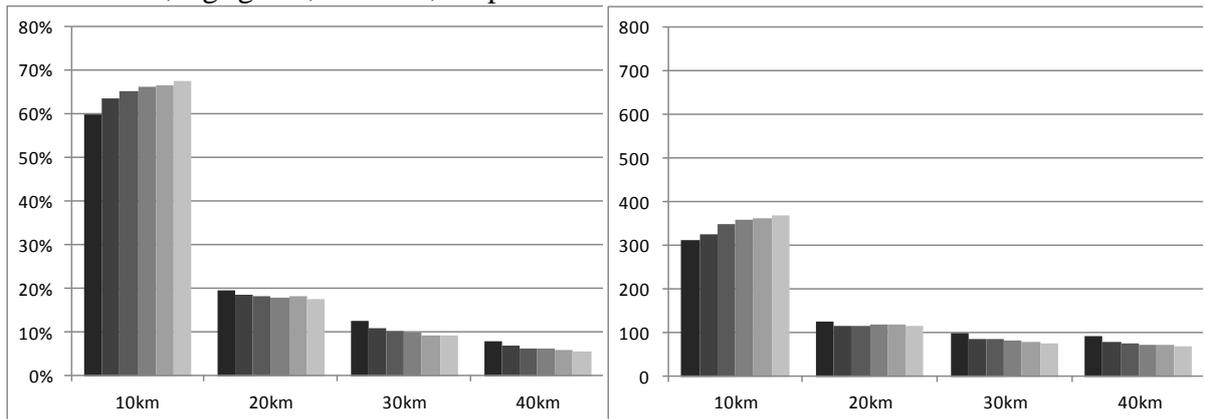


Lucques

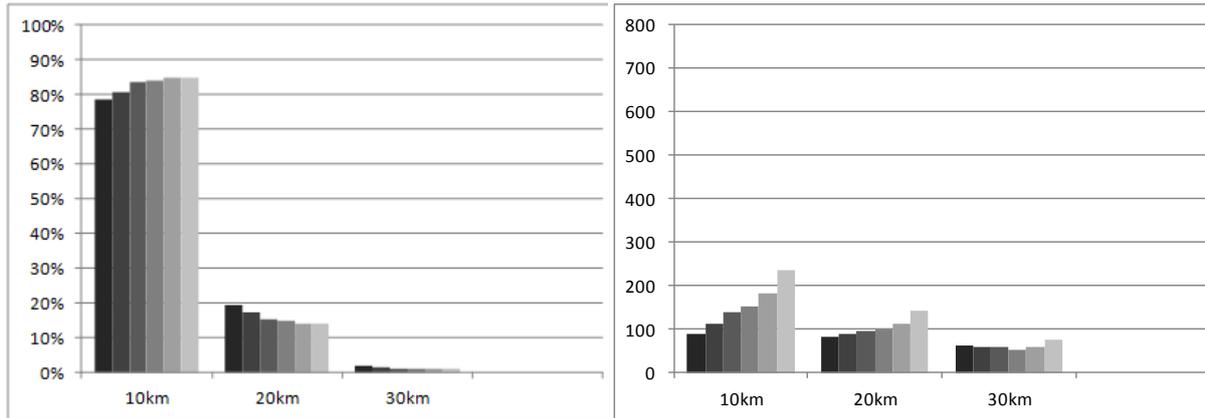


Troisième sous-ensemble du profil 1 :

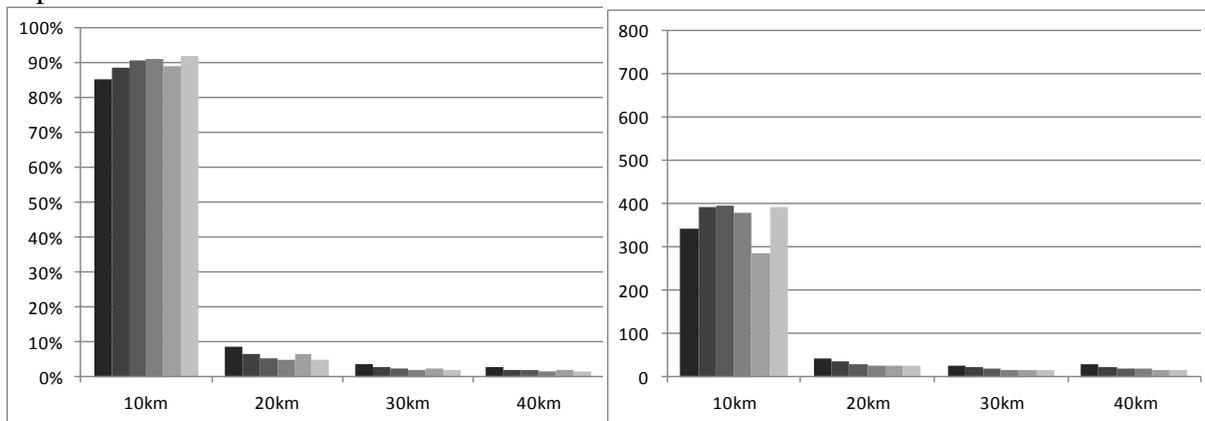
Caltanissetta, Agrigente, Palerme, Trapani



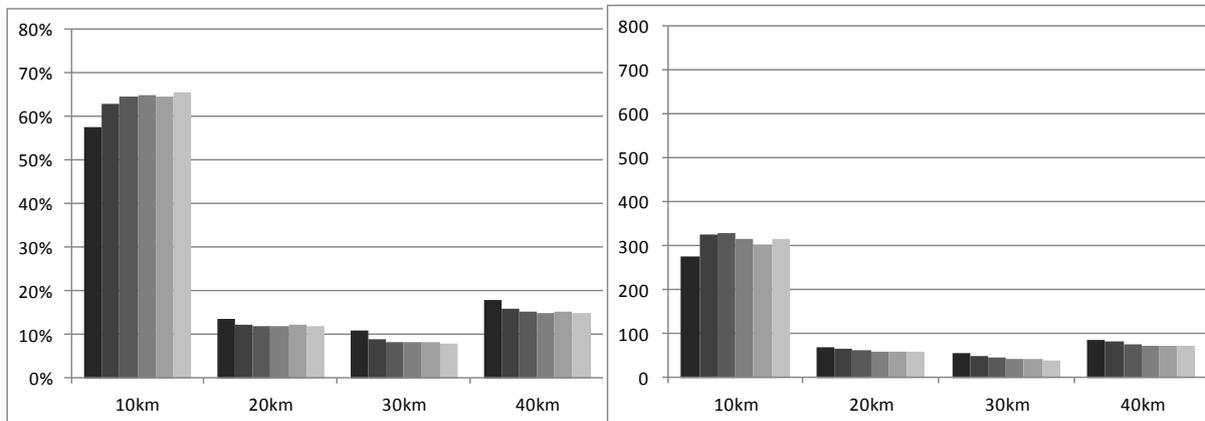
Baléares



Imperia

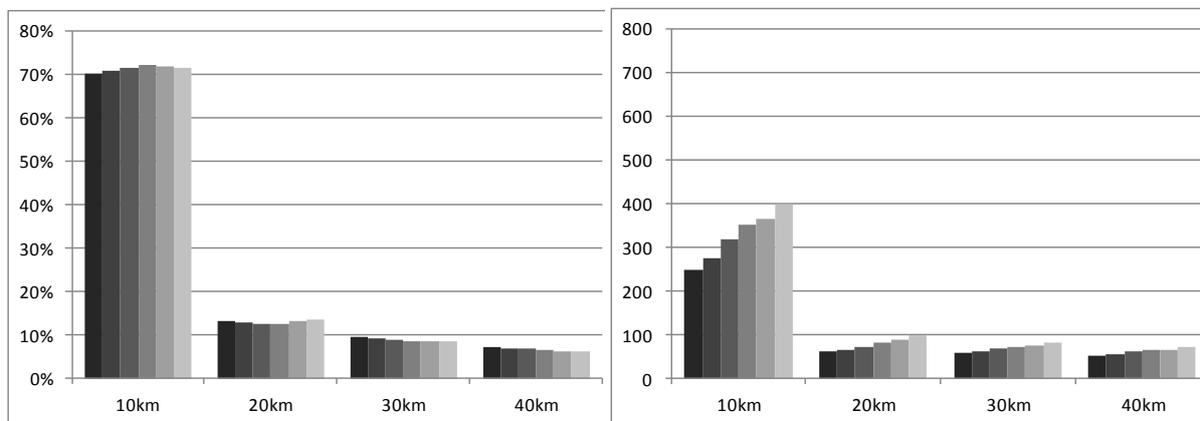


Savone

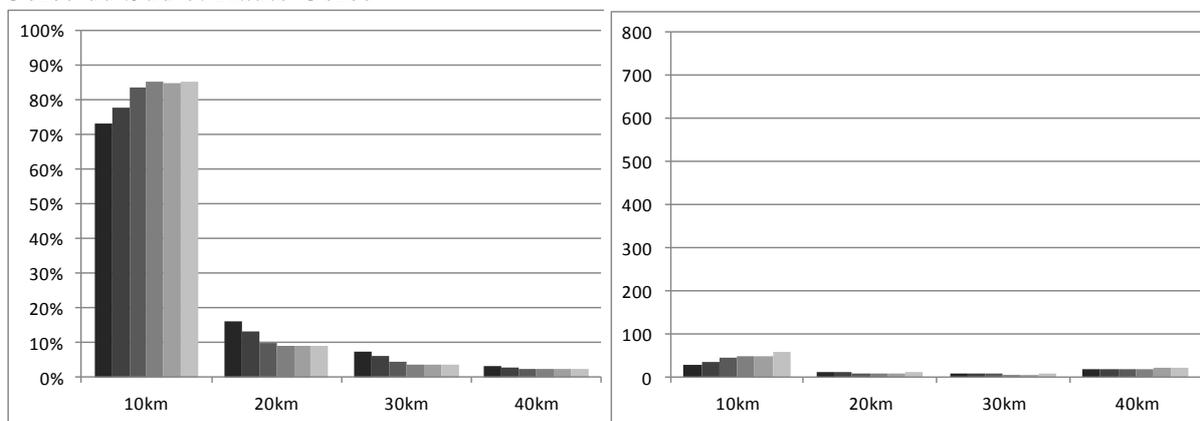


Profil 2 : Concentration dans la bande 0-10 km et début de déconcentration dans la bande 10-20 km (5 aires d'étude)

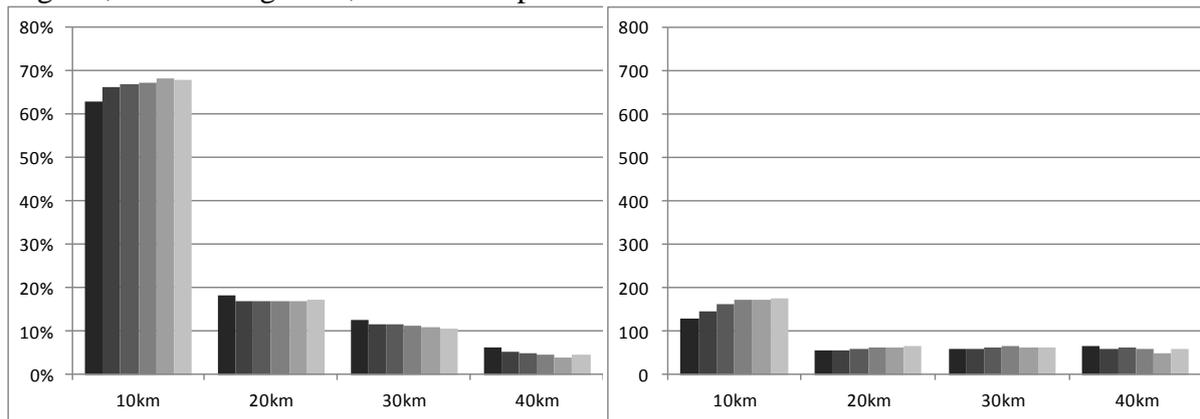
Cadix



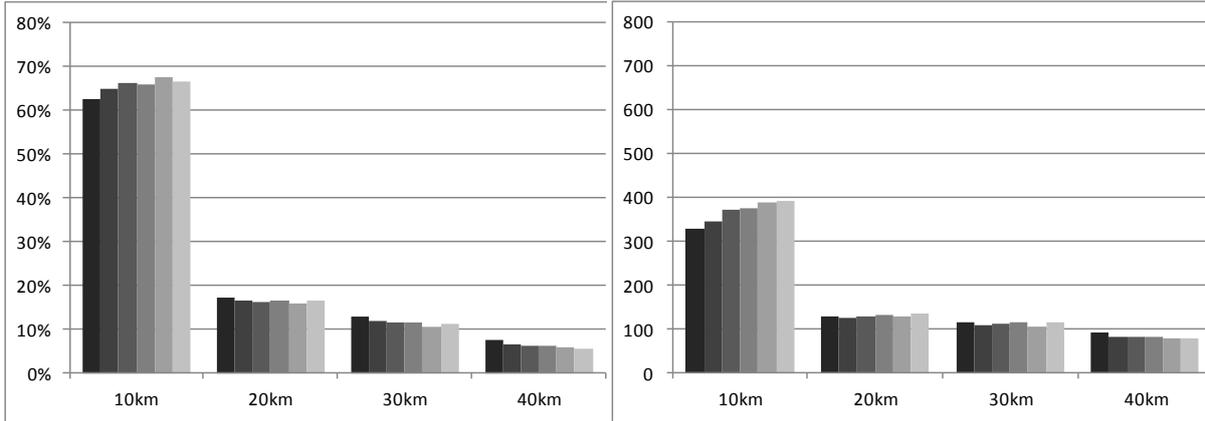
Corse du Sud et Haute Corse



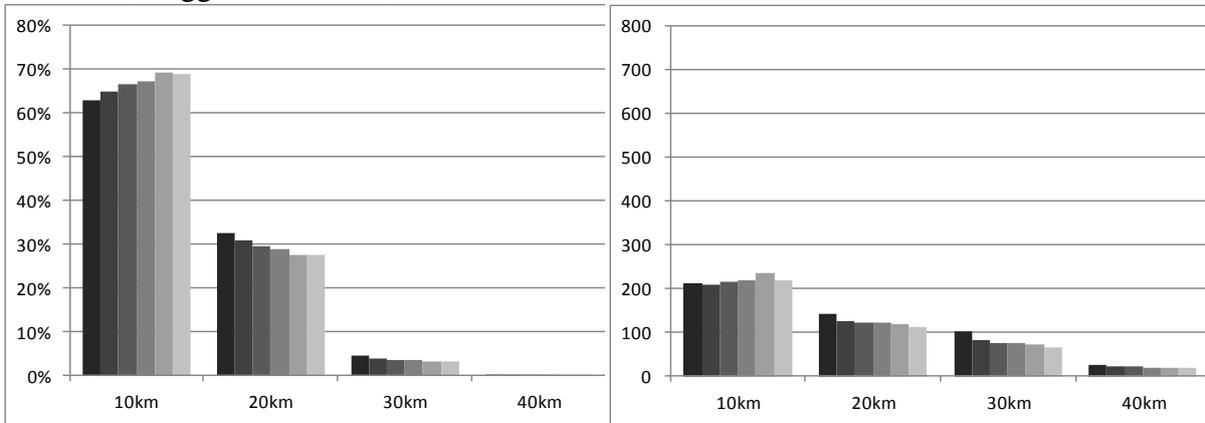
Cagliari, Carbonia-Iglesias, Medio Campidano



Catane, Messine, Raguse et Syracuse

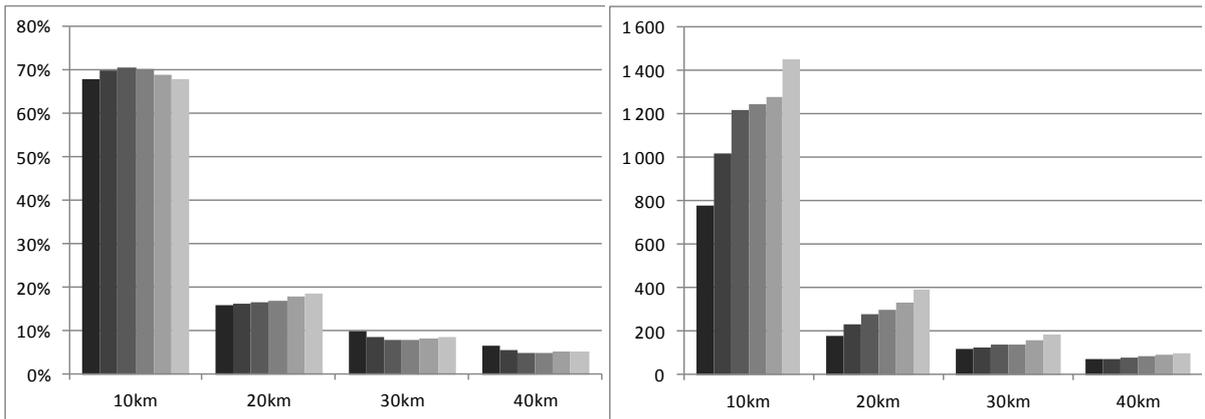


Catanzaro, Reggio de Calabre, Vibo Valentia

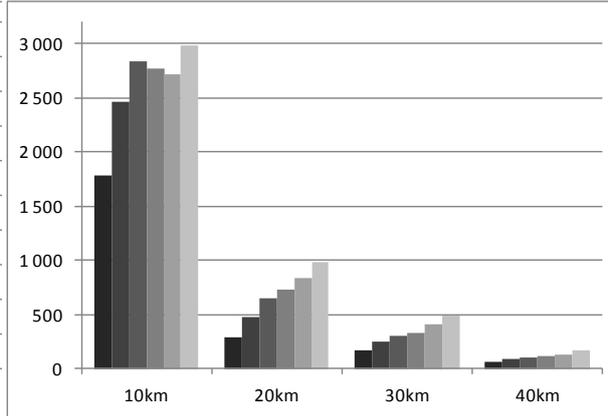
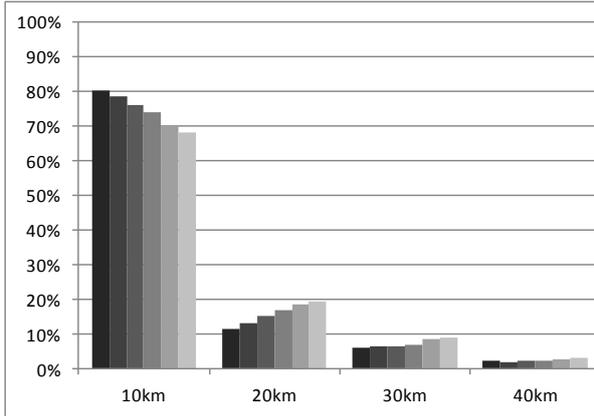


Profil 3 : Déconcentration dans la bande 10-20 km (8 aires d'étude)

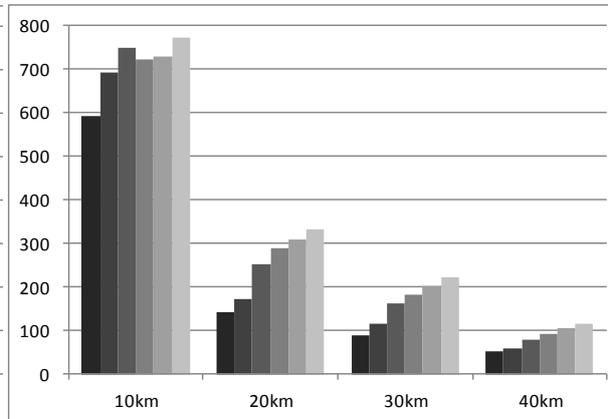
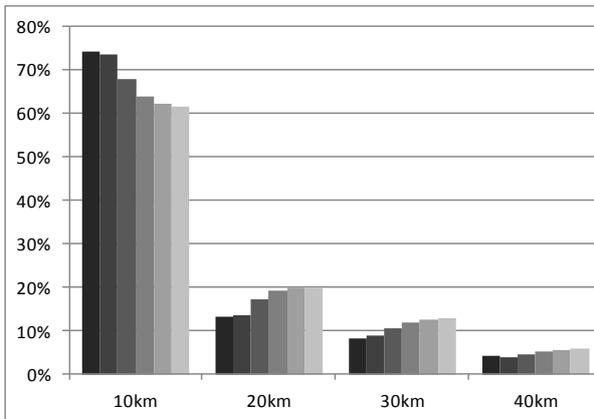
Valence



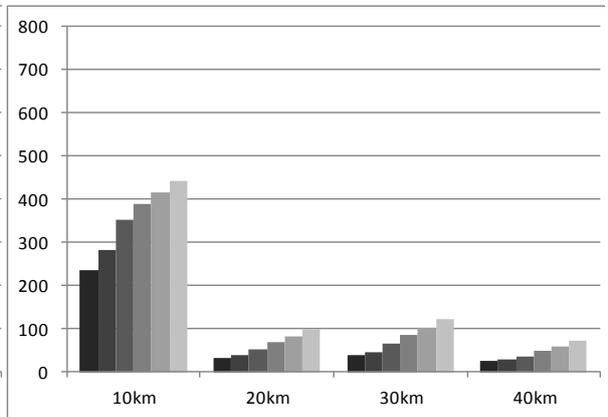
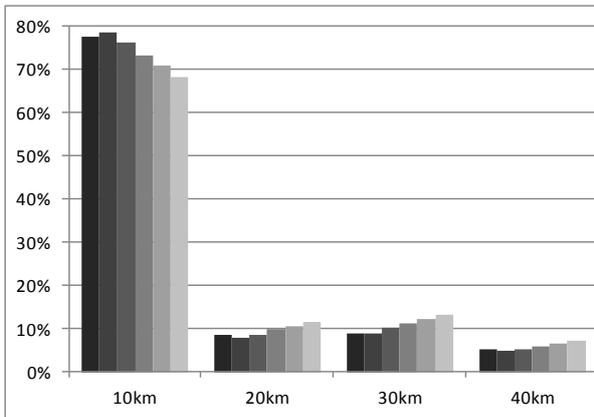
Barcelone



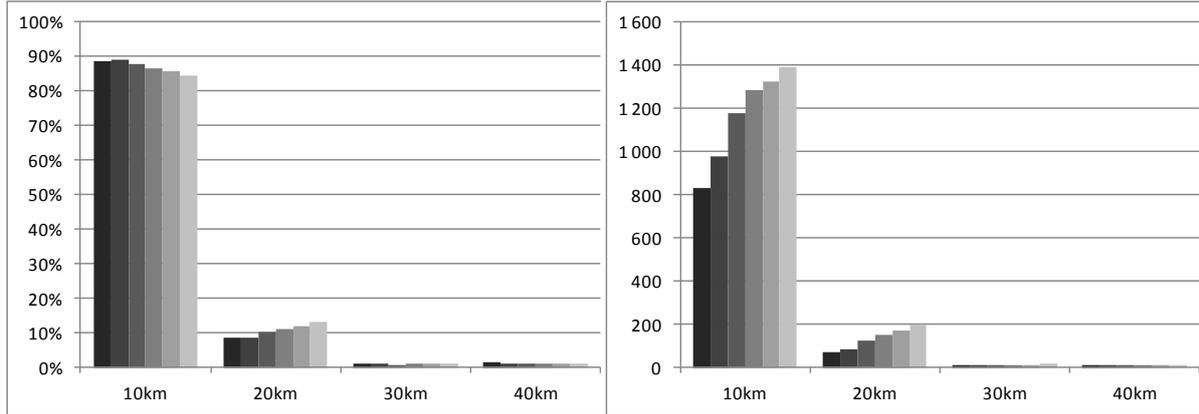
Bouches-du-Rhône



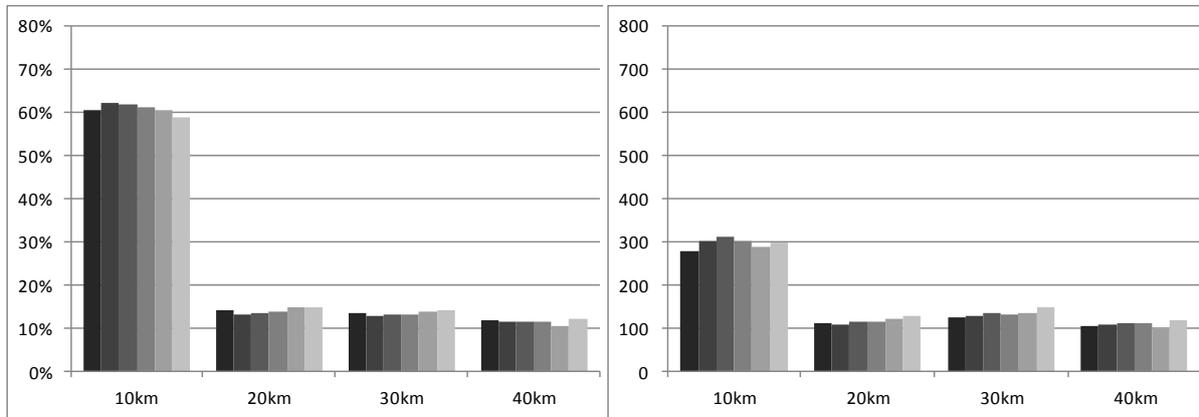
Var



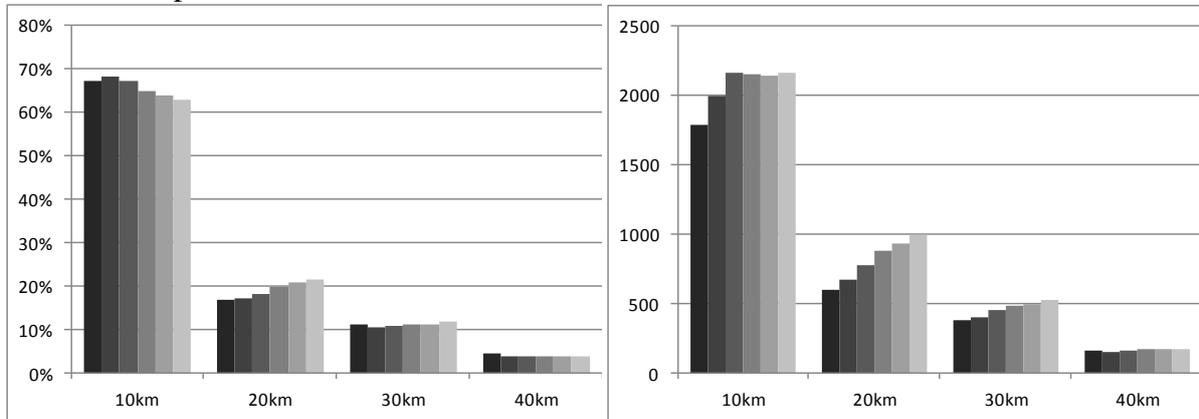
Alpes-Maritimes



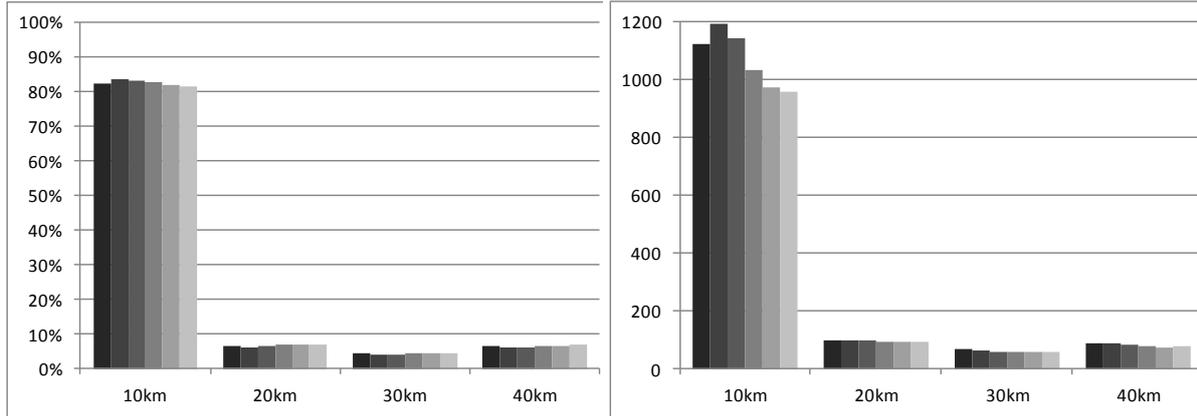
Livourne et Pise



Caserte et Naples

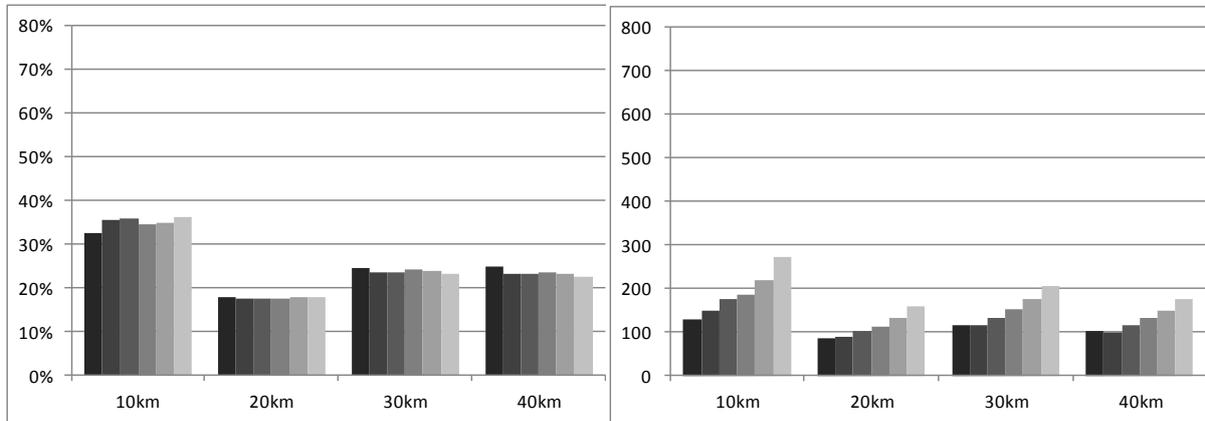


Gênes

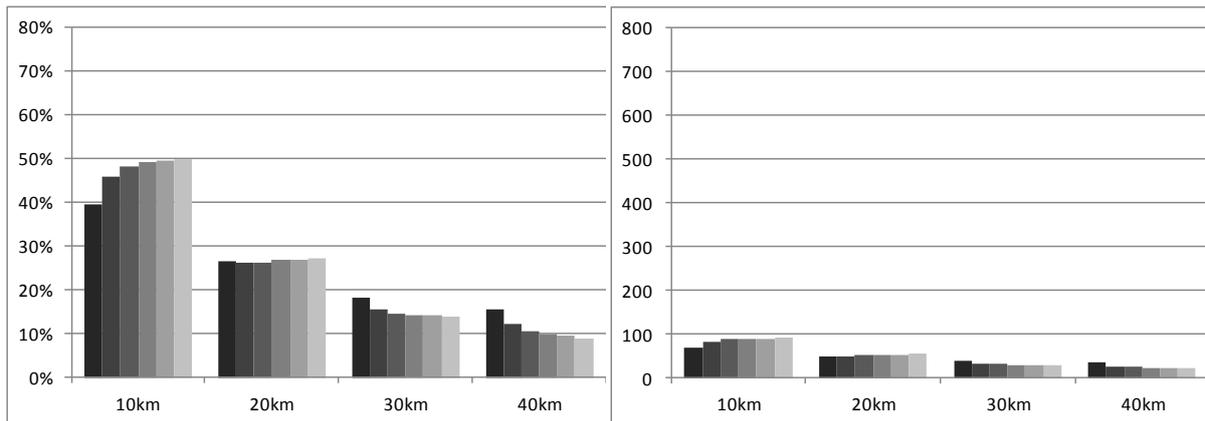


Profil 4 : Concentration dans les bandes 0-10 km et 10-20 km (4 aires d'étude)

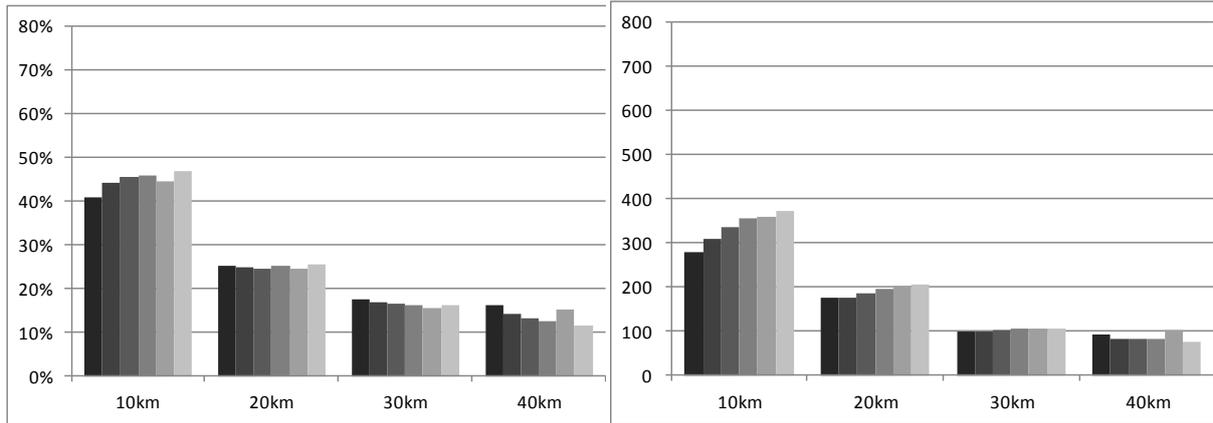
Murcie



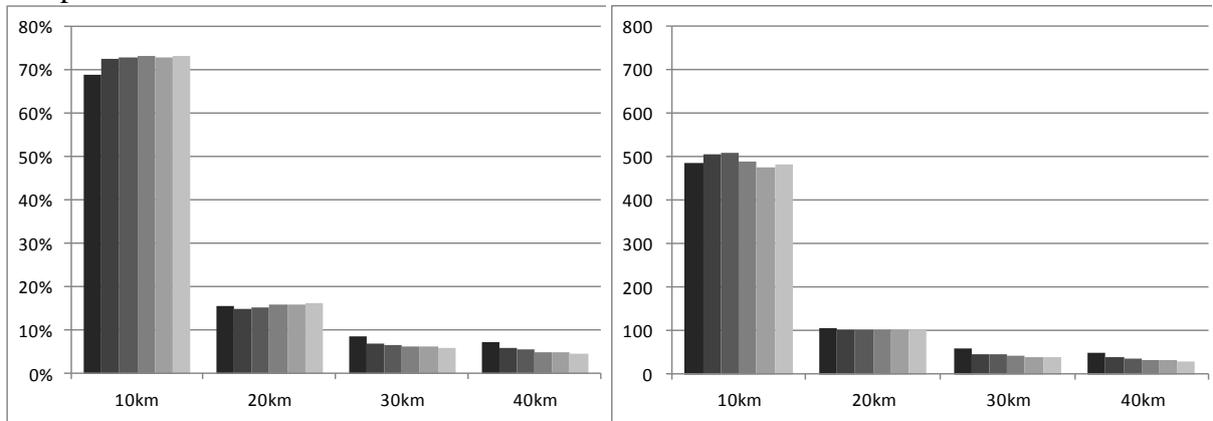
Grosseto



Potenza et Salerne

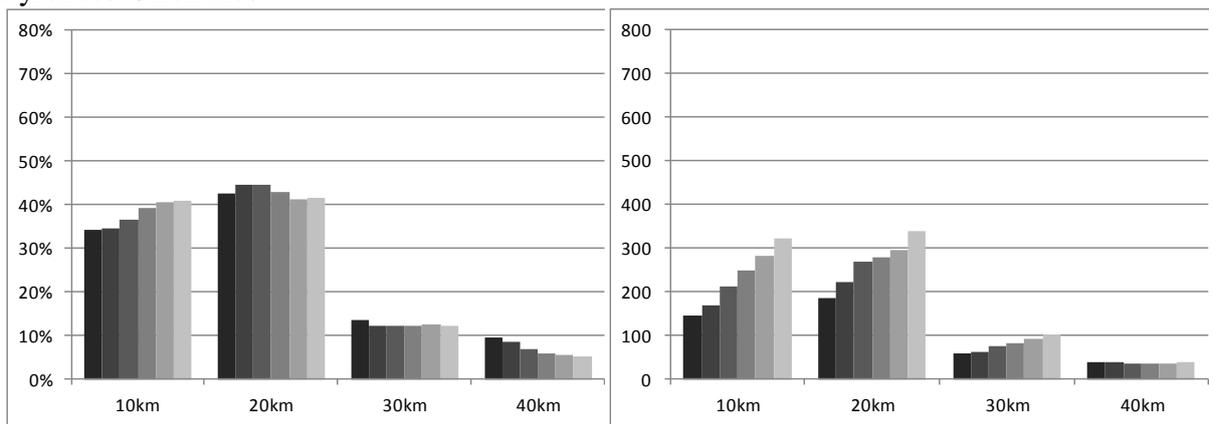


La Spezia et Massa-Carrara

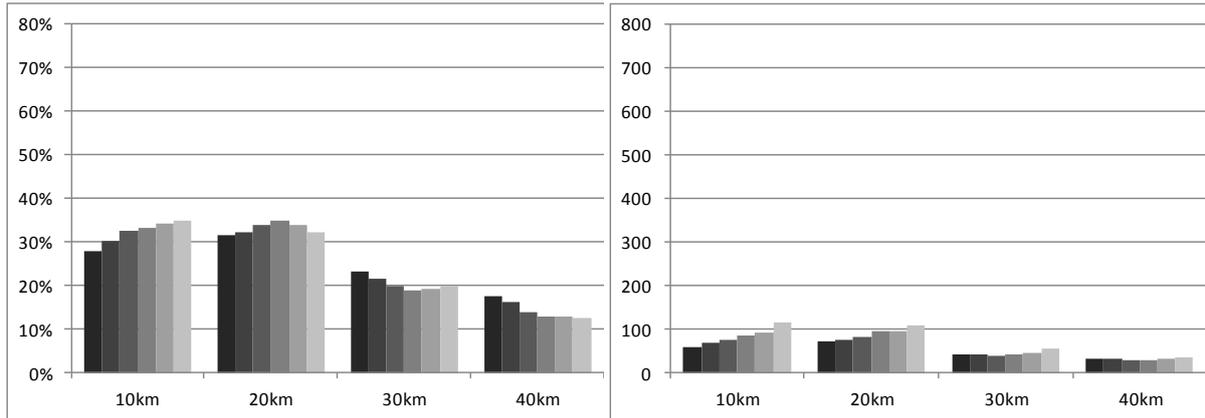


Profil 5 : Part maximale de population dans une autre bande que 0-10 km (5 aires d'étude)

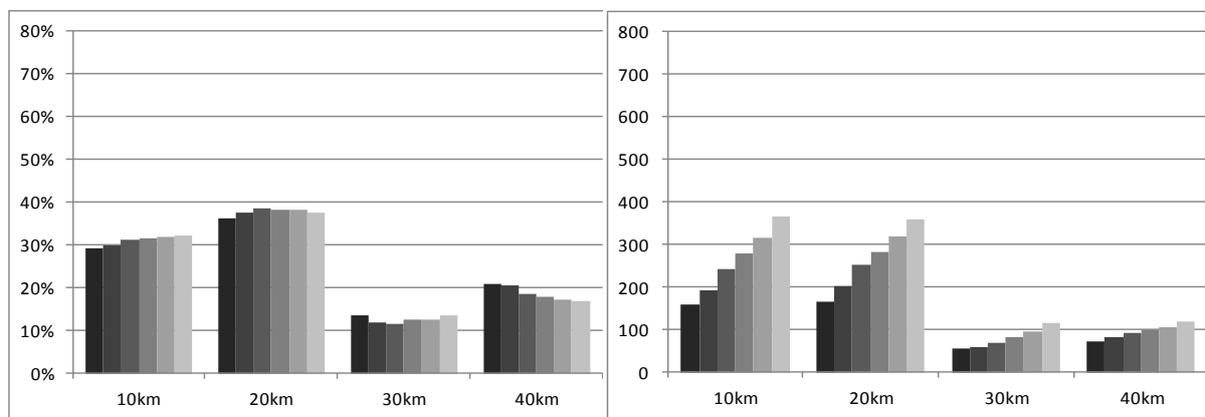
Pyrénées-Orientales



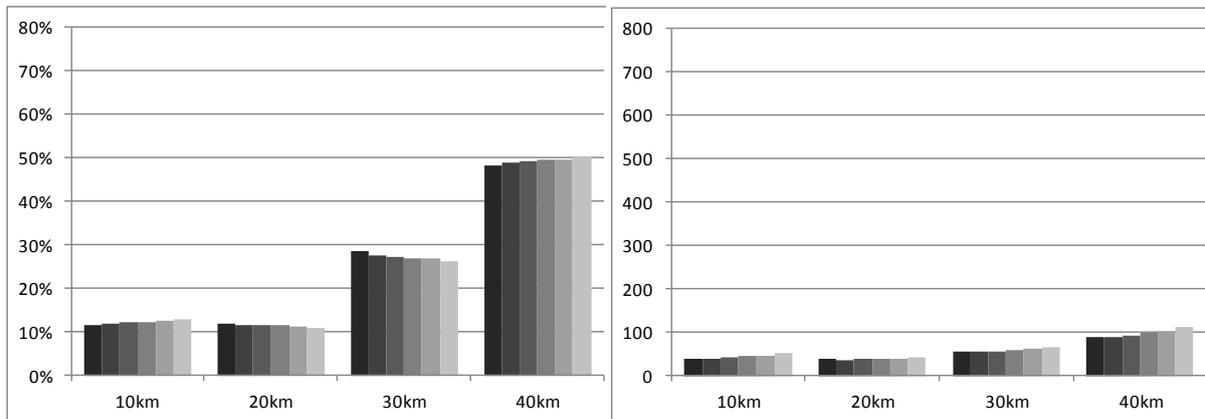
Aude



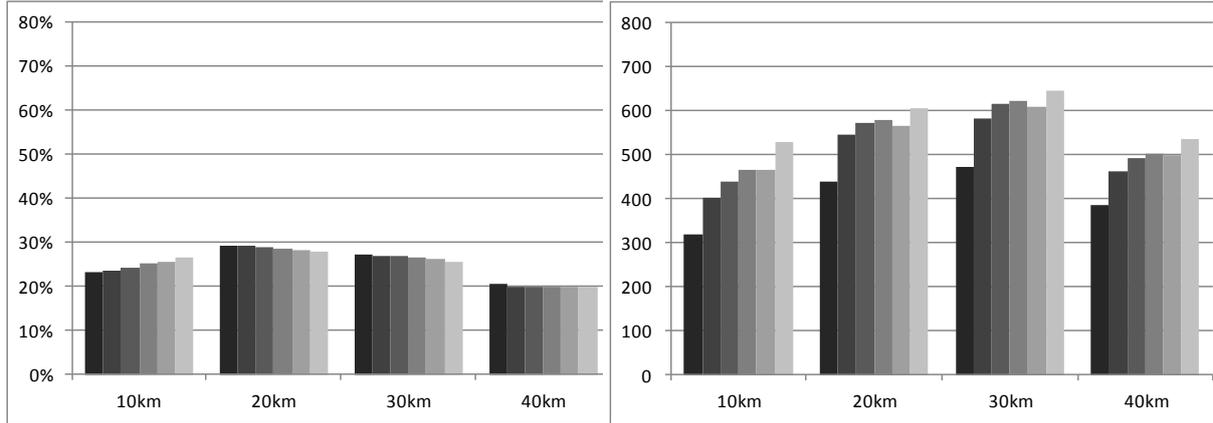
Gard et Hérault



Viterbe



Latina et Rome



Annexe 2. Script des analyses sous R

```
## =====  
## Etapes preliminaires  
## =====  
  
# Installation de deux bibliotheques de fonctions necessaires au programme  
# (si elles ne sont pas deja installees)  
install.packages(c('TraMineR','cluster'))  
  
# Chargement en memoire de ces bibliotheques  
library(TraMineR)  
library(cluster)  
  
# Importation des donnees (modifier le chemin vers le fichier)  
donnees <- read.csv("C:/Users/Sophie/Desktop/trajecioreslitto.csv",header=T)  
  
# Pour regarder la structure des donnees  
str(donnees)  
  
# Definition des labels des etats  
#1Pole littoral 2Frange littorale 3Zone retro-littorale 4Aire littorale 5Grande region littorale  
6Grande region retro-littorale 7Axe littoral-intérieur 8Absence de structure 9Zone interieure  
10Pole littoral lateral 11Frange littorale latérale 12Zone retro-littoral laterale 13Aire littorale  
laterale 14Grande region littorale latérale 15Grande region retro-littorale laterale  
labels <-  
c("PLIT","FLIT","RLIT","ALIT","BLIT","BLITR","AXE","ABS","ZINT","PLITLAT","FLI  
TLAT","RLITLAT","ALITLAT","BLITLAT","BLITRLAT")  
  
# Mise en forme des trajectoires sous forme d'un "objet" sequence  
seqdonnees <- seqdef(donnees, states=labels)  
  
# Definition de la palette des 15 couleurs correspond aux 15 etats  
cpal(seqdonnees) <- c("green3","yellow","sienna","darkorange","red2","magenta4","  
blue","darkgray","navyblue","chartreuse","lemonchiffon","peru","sandybrown","lightpink1","  
orchid")  
  
## =====  
## Visualisation des sequences  
## =====  
  
# Tapis de la typologie (index plots) pour l'ensemble des provinces  
x11()  
seqIplot(seqdonnees, xtlab=seq(1960,2000,10), tlim=0, space=0, border=NA, withlegend=T,  
yaxis=FALSE)  
  
# Tapis de l'ensemble des provinces(individus ranges selon leur etat de depart)  
x11()  
seqIplot(seqdonnees, sortv = "from.start")
```

```

# Tapis de l'ensemble des provinces (individus ranges selon leur etat d'arrivee)
x11()
seqIplot(seqdonnees, sortv = "from.end")

# Chronogramme pour l'ensemble des provinces
x11()
seqdplot(seqdonnees, xtlab=seq(1960,2000,10), border=NA, withlegend=T)

## =====
## Optimal matching et typologie
## =====

# Definition de la matrice de coûts de substitution
subm.custom <- matrix(c(
0,1.75,2,2,2,2,2,1.75,2,1,1.75,2,2,2,2,
1.75,0,1.75,1.75,2,2,2,2,2,1.75,1,1.75,1.75,2,2,
2,1.75,0,1.75,2,2,2,2,2,2,1.75,1,1.75,2,2,
2,1.75,1.75,0,1.75,2,2,2,2,2,1.75,1.75,1,1.75,2,
2,2,2,1.75,0,1.75,1.75,2,2,2,2,2,1.75,1,1.75,
2,2,2,2,1.75,0,2,2,1.75,2,2,2,2,1.75,1,
2,2,2,2,1.75,2,0,2,2,2,2,2,2,1.75,2,
1.75,2,2,2,2,2,2,0,1.75,1.75,2,2,2,2,2,
2,2,2,2,2,1.75,2,1.75,0,2,2,2,2,2,1.75,
1,1.75,2,2,2,2,2,1.75,2,0,1.5,1.5,1.5,1.5,1.5,
1.75,1,1.75,1.75,2,2,2,2,2,1.5,0,1.5,1.5,1.5,1.5,
2,1.75,1,1.75,2,2,2,2,2,1.5,1.5,0,1.5,1.5,1.5,
2,1.75,1.75,1,1.75,2,2,2,2,1.5,1.5,1.5,0,1.5,1.5,
2,2,2,1.75,1,1.75,1.75,2,2,1.5,1.5,1.5,1.5,0,1.5,
2,2,2,2,1.75,1,2,2,1.75,1.5,1.5,1.5,1.5,1.5,0
),nrow = 15, ncol = 15, byrow = TRUE)

# Calcul des dissimilarites avec l'optimal matching
seq.om <- seqdist(seqdonnees, method="OM", indel=1.1, sm=subm.custom)

# Classification ascendante hierarchique
seq.agnes <- agnes(as.dist(seq.om), method="ward", keep.diss=FALSE)

# Dendrogramme de la classification
plot(as.dendrogram(seq.agnes))

# Inertie intra-classe selon le nombre de classes
x11()
plot(sort(seq.agnes$height, decreasing=TRUE)[1:30], type='s', xlab="Number of clusters",
ylab="Intra-cluster inertia")

# Part de l'inertie intra-classe selon le nombre de classes
x11()
seqagnes2 <- as.hclust(seq.agnes)
h2 <- as.data.frame(sort(seqagnes2$height^2, decreasing = T))

```

```

colnames(h2) <- "height"
seqagnes2$tau <- h2$height * 100/sum(h2$height)
h2$taucum <- cumsum(seqagnes2$tau)
h2$nbcla <- as.numeric(row.names(h2)) + 1
plot(h2$nbcla, h2$taucum, type = "h", xlab = "Number of clusters", ylab = "Inter-cluster
inertia (% total inertia)")

# Choix d'une partition en 7 classes
nbcl <- 7
seq.part <- cutree(seq.agnes, nbcl)
seq.part <- factor(seq.part, labels=paste('classe', 1:nbcl, sep='.'))

## =====
## Representations graphiques de la typologie
## =====

# Tapis de la typologie (index plots)
x11()
seqIplot(seqdonnees, group=seq.part, xtlab=seq(1960,2000,10), tlim=0, space=0, border=NA,
withlegend=T, yaxis=FALSE)

# Tapis de la typologie (individus ranges selon leur etat de depart)
x11()
seqIplot(seqdonnees, group=seq.part, sortv = "from.start", xtlab=seq(1960,2000,10), tlim=0,
space=0, border=NA, withlegend=T, yaxis=FALSE)

# Tapis de la typologie (individus ranges selon leur etat d'arrivee)
x11()
seqIplot(seqdonnees, group=seq.part, sortv = "from.end", xtlab=seq(1960,2000,10), tlim=0,
space=0, border=NA, withlegend=T, yaxis=FALSE)

```

Annexe 3. Carte de situation de la Camargue : bassins de drainage et principaux canaux (source : Parc Naturel Régional de Camargue)

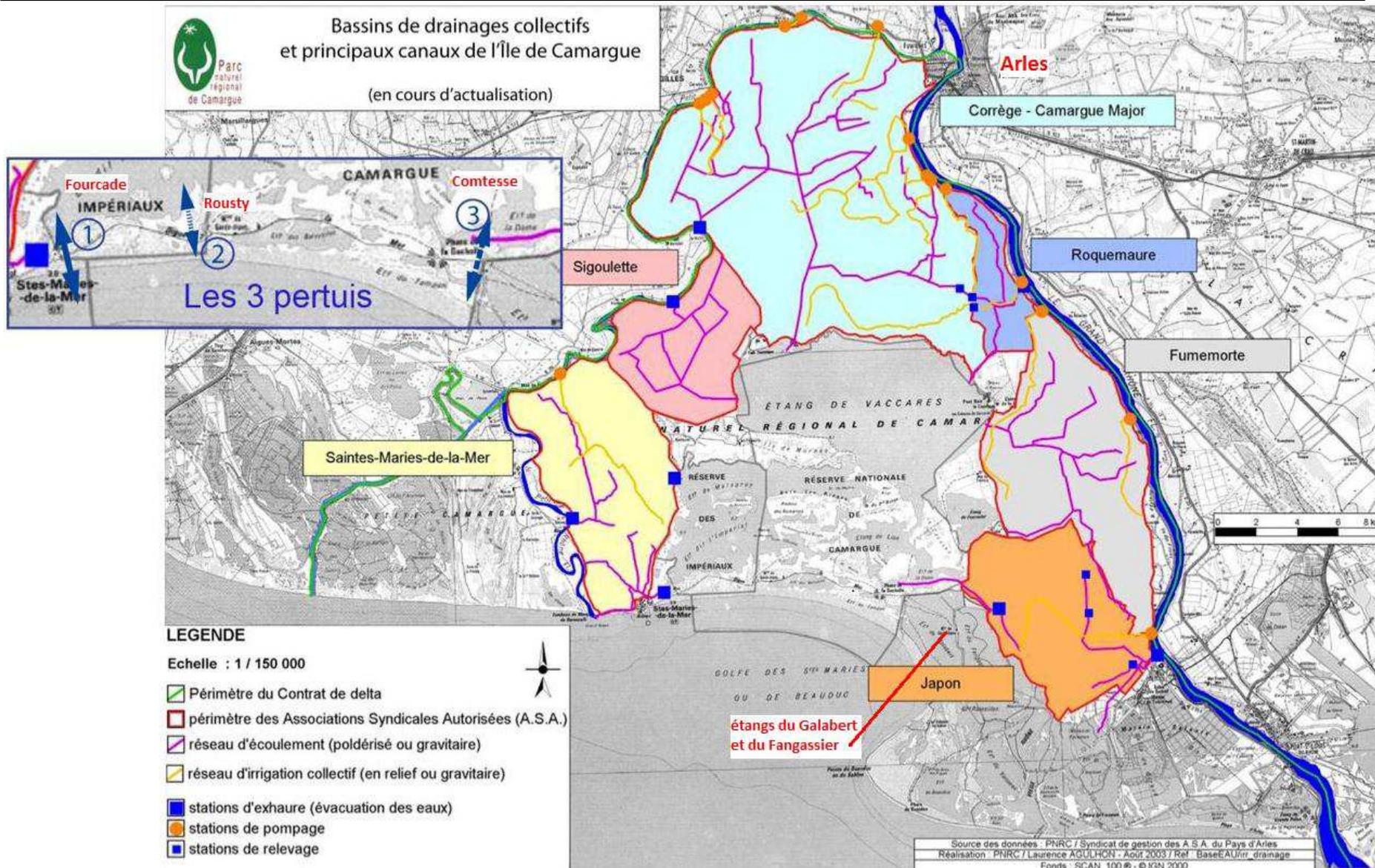


TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION GÉNÉRALE	11
-----------------------------	----

PREMIÈRE PARTIE

POUR UNE PROSPECTIVE SPATIALE DES TERRITOIRES LITTORAUX DE L'ARC LATIN	15
---	----

CHAPITRE I. LE DEVENIR DES TERRITOIRES LITTORAUX : UN BESOIN DE CONNAISSANCES PROSPECTIVES FACE AU CUMUL DES PRESSIONS

<u>1. L'intensification de l'occupation des littoraux nord-méditerranéens.....</u>	17
1.1. La littoralisation, une tendance lourde	18
1.1.1. Une convergence de processus à différentes échelles	18
1.1.2. Maintien et renforcement de la littoralisation	26
1.1.3. Conséquences territoriales.....	29
1.2. Un développement des littoraux peu anticipé.....	32
1.2.1. Faiblesses de l'encadrement de l'urbanisation littorale	32
1.2.2. Maîtrise foncière et périmètres de protection, derniers remparts face à la pression urbaine.....	34
1.2.3. Un développement progressif et inégal des programmes de GIZC	36
1.3. Des processus de littoralisation différenciés au niveau spatial et temporel ...	39
1.3.1. De la concentration à la saturation du littoral, un modèle spatial	39
1.3.2. Régionalisations de l'Arc Latin : des contrastes démographiques, urbains, spatiaux, économiques et environnementaux	44
1.3.3. Nécessité d'une rétrospective fine des processus de littoralisation.....	48
<u>2. Les littoraux face au changement climatique : s'adapter en contexte incertain..</u>	55
2.1. Un renforcement des risques, des pressions et des incertitudes sur l'avenir .	55
2.1.1. Une convergence d'aléas sur les littoraux méditerranéens	55
2.1.2. La Méditerranée : un « hot spot » du changement climatique	57
2.1.3. Des interrelations potentiellement fortes entre littoralisation et changement climatique	58
2.2. Une nécessaire adaptation, contrainte par les incertitudes scientifiques	61
2.2.1. Montée en puissance de l'adaptation, volet complémentaire de l'atténuation	61
2.2.2. Un cumul d'incertitudes limitant l'évaluation locale des impacts du changement climatique.....	62
2.2.3. Un contexte décisionnel délicat pour adapter les territoires.....	64
2.3. Différentes approches scientifiques de l'adaptation.....	68
2.3.1. Intégrer les effets de l'adaptation dans l'évaluation des impacts du changement climatique.....	68
2.3.2. Evaluer la capacité d'adaptation et la vulnérabilité sociale	70
2.3.3. Définir des stratégies d'adaptation	74

CHAPITRE II. DEMARCHE, METHODES ET CONCEPTS POUR UNE ANALYSE PROSPECTIVE DES LITTORAUX DE L'ARC LATIN DANS LE CONTEXTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE.....	81
<u>1. Deux axes de recherche mais une problématique commune : analyser les possibilités d'évolution des territoires littoraux à travers leur composante spatiale</u>	81
1.1. Une problématique prospective et spatiale	82
1.1.1. Évaluer le devenir des processus de littoralisation et identifier les capacités d'adaptation des territoires dans le contexte du changement climatique	82
1.1.2. L'importance de la dimension spatiale dans le cadre de la recherche d'un développement durable des territoires littoraux	83
1.2. Fondements théoriques et cadre méthodologique : analyse spatiale, approche systémique et démarche de prospective spatiale.....	85
1.2.1. L'espace, déterminant de l'organisation et de l'évolution des territoires.....	85
1.2.2. Développement de la perspective temporelle en analyse spatiale à travers la dynamique des systèmes	88
1.2.3. La prospective spatiale, la recherche de règles et de marqueurs spatiaux des évolutions à venir des territoires	89
<u>2. Axe 1 : Analyser les trajectoires de peuplement de l'Arc Latin pour un diagnostic des évolutions futures de la littoralisation.....</u>	93
2.1. L'analyse de trajectoires territoriales.....	93
2.1.1. Une analyse des configurations spatio-temporelles et de leurs logiques d'évolution	93
2.1.2. Analyser les trajectoires territoriales dans une optique prospective.....	95
2.2. Démarche de prospective spatiale à partir des trajectoires de peuplement... 97	97
2.2.1. Préalable à l'analyse comparative des trajectoires de peuplement de l'Arc Latin, la question de l'harmonisation des données et de la partition de l'espace.....	97
2.2.2. Retracer les trajectoires : une recherche exploratoire combinant les outils de l'analyse spatiale et de l'analyse de séquences	101
2.2.3. Analyser les propriétés des trajectoires de peuplement pour une prospective de la littoralisation de l'Arc Latin et la localisation des espaces à enjeu	105
<u>3. Axe 2 : Evaluer l'adaptabilité des territoires aux changements climatiques par une analyse systémique et spatiale.....</u>	108
3.1. L'adaptation, un enjeu de recherche réaffirmé mais un concept polysémique	108
3.1.1. Appréhender les interactions homme-environnement.....	108
3.1.2. Une richesse sémantique freinant l'interdisciplinarité et l'opérationnalité..	110
3.2. La capacité d'adaptation : intérêts et limites de son évaluation	112
3.2.1. Une approche « pragmatique » de l'adaptation.....	112
3.2.2. Difficultés et limites de l'évaluation des capacités d'adaptation au changement climatique.....	114
3.3. Démarches d'analyse de l'adaptabilité des territoires au changement climatique	117
3.3.1. Intérêts d'une approche systémique et spatiale pour évaluer les capacités d'adaptation des territoires	117
3.3.2. Une démarche heuristique par simulation spatiale et systémique : Occupations du sol et consommations d'eau face aux changements de température et de pluviométrie	119
3.3.3. Une démarche tournée vers l'opérationnalité par diagnostic territorial : Activités et acteurs en Camargue face à la montée du niveau de la mer	120

DEUXIEME PARTIE

PROSPECTIVE DES TRAJECTOIRES DE LITTORALISATION DE L'ARC LATIN 125

CHAPITRE III. ANALYSE RETROSPECTIVE DES TRAJECTOIRES DE LITTORALISATION 127

1. Analyse de la distribution de la population conditionnellement au trait de côte 127

1.1. Méthode d'analyse du déploiement de la littoralisation 128

1.1.1. Première analyse des différentiels de population au sein de l'Arc Latin 128

1.1.2. Partition de l'espace en quatre bandes parallèles au rivage 130

1.2. Classification des profils d'évolution de la distribution de la population 133

1.2.1. Cinq types de profil spatio-temporel 133

1.2.2. Détails des cinq types de profil spatio-temporel de distribution de la population 136

2. Analyse des configurations spatiales des dynamiques de peuplement à l'échelle des communes 146

2.1. Révéler des structures spatiales homogènes par les Indicateurs Locaux d'Association Spatiale (LISA) 146

2.1.1. Le choix de l'indice de Moran local 146

2.1.2. Paramétrage du calcul des LISA 148

2.1.3. Définition de la nomenclature des configurations spatiales des dynamiques de peuplement 150

2.2. Intégration de la dimension temporelle : l'analyse de séquences 155

2.2.1. Formalisation séquentielle 155

2.2.2. Mesure de la dissimilarité entre trajectoires par l'algorithme de l'Appariement Optimal 156

2.2.3. Classification ascendante hiérarchique 158

2.3. Résultats des classes d'évolution spatiale des dynamiques de peuplement.. 161

2.3.1. Analyse des sept classes résultantes de la CAH 161

2.3.2. Analyse croisée des différentes classes 171

2.3.3. Retour sur la méthode 174

CHAPITRE IV. PROSPECTIVE DE LA LITTORALISATION DE L'ARC LATIN A PARTIR DE L'ANALYSE DES TRAJECTOIRES DE PEUPLEMENT 179

1. Analyse des propriétés des trajectoires 179

1.1. Direction 180

1.1.1. Caractérisation de l'origine et de l'orientation des trajectoires 180

1.1.2. Lecture croisée des structures et dynamiques spatiales de peuplement 181

1.1.3. Résultats : six directions de trajectoire 183

1.2. Stade 190

1.2.1. Mesure de l'avancement des trajectoires en fonction du potentiel de densification 190

1.2.2. Résultats : trois niveaux d'avancement 194

1.3. Stabilité 198

1.3.1. Identification des écarts par rapport à la direction des trajectoires 198

1.3.2. Résultats : trois formes d'instabilité 199

1.4. Vitesse	202
1.4.1. Caractérisation des vitesses d'évolution des dynamiques spatiales et de la croissance de la population	202
1.4.2. Résultats : deux mesures de la vitesse non corrélées	204
<u>2. Mise en évidence des évolutions potentielles de la littoralisation de l'Arc Latin à travers l'identification de différents types d'espaces à enjeux.....</u>	210
2.1. Analyse croisée des propriétés des trajectoires.....	210
2.1.1. Une analyse prospective basée sur les potentialités de maintien ou d'évolution des trajectoires et l'identification d'espaces à enjeux	210
2.1.2. Mise en évidence des espaces saturés et des espaces proches de la saturation	214
2.1.3. Mise en évidence des situations potentielles de déploiement intérieur anticipé et d'anthropisation continue des littoraux	217
2.1.4. Synthèse des espaces à enjeux en termes de littoralisation de l'Arc Latin ..	220
2.2. Apports de l'analyse des propriétés des trajectoires en prospective spatiale et mise en perspective de leurs enseignements pour l'action territoriale.....	225
2.2.1. Une méthode de prospective spatiale adaptée aux processus géographiques structurés en différentes phases d'évolution	225
2.2.1. Perspectives pour l'action territoriale	227

TROISIEME PARTIE

EVALUATION DE L'ADAPTABILITE DES TERRITOIRES

LITTORAUX AU CHANGEMENT CLIMATIQUE	233
---	------------

CHAPITRE V. ANALYSE DE L'ADAPTABILITE PAR MODELISATION DU FONCTIONNEMENT DE SYSTEMES TERRITORIAUX ET SIMULATION DE L'EFFET DE MESURES D'ADAPTATION : OCCUPATIONS DU SOL ET CONSOMMATIONS D'EAU DE TERRITOIRES LITTORAUX FICTIFS FACE A L'EVOLUTION DES PARAMETRES CLIMATIQUES	235
--	------------

<u>1. Une démarche exploratoire de l'adaptabilité de systèmes territoriaux par la simulation</u>	235
---	------------

1.1. Une modélisation à la fois systémique et spatiale de l'évolution de territoires littoraux fictifs	236
---	------------

1.1.1. Une analyse du fonctionnement et de l'évolution d'un territoire par la modélisation en dynamique des systèmes	236
1.1.2. Avec la modélisation basée sur les automates cellulaires, deux environnements de modélisation complémentaires.....	239

1.2. Modélisation de l'évolution de l'occupation du sol au moyen d'un automate cellulaire	243
--	------------

1.2.1. Définition des espaces fictifs initiaux	243
1.2.2. Scénario non-interventionniste.....	245
1.2.3. Scénario interventionniste pour une protection des espaces agricoles et littoraux	250

1.3. Modélisation de l'évolution de la ressource en eau et des consommations au moyen de la dynamique des systèmes	255
---	------------

1.3.1. Définition des composantes du système et de leurs interrelations	255
---	-----

1.3.2. Simulation de l'évolution des consommations et de la ressource en eau selon deux scénarios du GIEC	257
<u>2. Une modélisation permettant de tester les effets de différentes mesures d'adaptation sur les deux espaces fictifs</u>	<u>264</u>
2.1. Simulations de différents types de mesure d'adaptation	264
2.1.1. Mesures de restriction de la consommation d'eau	264
2.1.2. Mesures instaurant une utilisation économe de l'eau.....	266
2.1.3. Mesures agissant indirectement sur la consommation d'eau	274
2.2. Simulations de stratégies d'adaptation	280
2.2.1. Identification de mesures d'adaptation en adéquation avec les espaces	280
2.2.2. Combinaison de mesures d'adaptation de différentes natures	284
2.3. Discussion et perspectives pour l'analyse de l'adaptabilité des territoires ..	287
2.3.1. L'adaptabilité des territoires explorée par la simulation	287
2.3.2. La simulation comme aide à la réflexion et à la définition de stratégies d'adaptation	289

CHAPITRE VI. ÉVALUATION DE L'ADAPTABILITE PAR DIAGNOSTIC

TERRITORIAL ET ANALYSE SYSTEMIQUE : ACTIVITES ET ACTEURS EN

CAMARGUE FACE A LA MONTEE DU NIVEAU DE LA MER 295

1. Démarche de diagnostic de l'adaptabilité du système camarguais 295

1.1. La Camargue, un système complexe 296

1.1.1. Un territoire dont le fonctionnement est compromis par l'élévation du niveau de la mer

1.1.2. Une gouvernance complexe et des incertitudes croissantes

1.2. Un diagnostic de l'adaptabilité construit en interaction avec les chercheurs du programme CAMPLAN 299

1.2.1. Positionnement théorique et opérationnel : soutenir l'adaptabilité du système afin de favoriser sa résilience

1.2.2. Construction d'une grille de critères de l'adaptabilité territoriale et analyse systémique des éléments du système camarguais caractérisant ces critères

2. Analyses et résultats du diagnostic de l'adaptabilité du système camarguais 305

2.1. Analyse des critères spatiaux de l'adaptabilité du système camarguais 305

2.1.1. Nature des dynamiques du système

2.1.2. Héritages spatiaux et diversification du système

2.1.3. Existence de sous-systèmes spatiaux et interactions spatiales

2.2. Analyse du rôle des acteurs dans l'adaptabilité du système camarguais 309

2.2.1. Identification des éléments du système camarguais jouant sur les critères d'adaptabilité et de leurs relations : élaboration du diagramme causal.....

2.2.2. Analyse de l'organisation des critères d'adaptabilité

2.2.3. Identification des enjeux de l'adaptabilité du système camarguais : points de blocage et combinaisons favorables

2.3. Perspectives pour la Camargue et l'analyse de l'adaptabilité des territoires 324

2.3.1. Une adaptabilité par la gestion collective dont les marges de progression sont désormais réduites et la nécessité de se tourner vers de nouveaux principes d'action

2.3.2. Une démarche de diagnostic de l'adaptabilité des territoires formalisée au sein d'un cadre conceptuel permettant la flexibilité et la reproductibilité

CONCLUSION GÉNÉRALE	331
BIBLIOGRAPHIE	343
TABLE DES FIGURES	361
TABLE DES TABLEAUX	365
ANNEXES.....	367
TABLE DES MATIÈRES.....	385