



HAL
open science

Occupation et usage du littoral, évolution, déterminants, conséquences

Iwan Le Berre

► **To cite this version:**

Iwan Le Berre. Occupation et usage du littoral, évolution, déterminants, conséquences. Géographie. Université de Bretagne Occidentale (UBO), Brest, 2021. tel-03508913

HAL Id: tel-03508913

<https://shs.hal.science/tel-03508913v1>

Submitted on 3 Jan 2022

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.

Occupation et usage du littoral, évolution, déterminants, conséquences



Habilitation à Diriger des Recherches
Discipline : Géographie

Volume 1 : bilan scientifique et perspectives de recherche

Iwan LE BERRE

Maître de conférences en Géographie
UMR 6554 CNRS LETG, Université de Bretagne Occidentale

**Habilitation à Diriger les Recherches soutenue à Brest le 3 décembre 2021 devant
le jury composé de :**

Françoise GOURMELON, Directrice de recherche CNRS, UMR 6554 LETG

Catherine MEUR-FEREC, Professeure de Géographie, UBO, UMR 6554 LETG

Samuel ROBERT, Directeur de recherche CNRS, UMR 7300 ESPACE

Christine VOIRON-CANICIO, Professeure de Géographie, Université Côte d'Azur, UMR 7300 ESPACE

Freddy VINET, Professeur de Géographie, Université Paul Valéry Montpellier 3, UR LAGAM

Photographie de couverture : Éparpillement résidentiel à Brignogan (nord Finistère) vu du ciel (source : LETG-Nautisme en Finistère, juillet 2006)

Remerciements

L'exercice des remerciements est toujours délicat, de peur d'oublier quelqu'un d'important, de cher... ou de potentiellement nuisible ! Arrivé à un certain âge, le réseau relationnel devient important, aussi le risque s'accroît-il. Par conséquent, procédons avec méthode.

En premier lieu, je tiens à remercier Françoise Gourmelon, ma garante, pour son aide, ses relectures attentives et ses conseils avisés. N'ayant jamais souhaité me consacrer entièrement à l'exercice de l'HDR – en interrompant, par exemple, mes cours ou mes projets – son exigence m'a poussé à me dépasser un peu plus que je ne l'escomptais.

En second lieu, je voudrais remercier Mesdames et Messieurs Catherine Meur-Ferec, Christine Voiron-Canicio, Samuel Robert et Freddy Vinet de m'avoir fait l'honneur de constituer mon jury et d'avoir accepté de donner de leur temps déjà bien compté pour lire, évaluer et discuter mon travail.

Il me faut bien entendu remercier très chaleureusement tous mes collègues du laboratoire LETG, et en particulier la Belle équipe brestoise, au sein de laquelle j'ai trouvé des conditions de travail sereines, constructives, compétentes et véritablement cordiales, tout à fait propices à l'épanouissement scientifique. À l'IUEM, et plus largement à l'UBO, outre un cadre de travail exceptionnel (malgré l'éloignement du centre-ville et des autres sites universitaires, malgré l'état de bâtiments pourtant pas si anciens et malgré des tendances parfois inquiétantes pour l'avenir de l'université), j'ai trouvé un environnement très stimulant, propre à piquer la curiosité d'un chercheur en géographie par la diversité des disciplines, des thématiques, des parcours qui s'y rassemblent.

En particulier, je tiens à remercier tous les collègues auxquels j'ai été ou je suis associé dans les recherches présentées dans ce mémoire (dans l'ordre d'apparition) : Françoise Gourmelon, Louis Brigand, Adeline Maulpoix, Alain Hénaff, Catherine Meur-Férec, Manuelle Philippe, Pauline Letortu, Nicolas Le Dantec, Thibaud Lami, Mathias Rouan, Laurence David, Jean Laroche, Jennifer Laurent. Je tiens à remercier tout spécialement Marius Thériault des trésors de patience et de pédagogie qu'il a déployé pour tenter de m'initier aux arcanes des statistiques multivariées et spatiotemporelles, domaine aride, mais passionnant et matière à de riches réflexions. Il me faut évidemment ajouter Isabelle Mescoff qui, par son rôle indispensable de soutien à tous ces projets, y est de fait associée. Certains de ces collègues ont accepté de relire des parties de ce mémoire pour les discuter et m'aider à les améliorer : merci beaucoup à vous Alain, Catherine, Pauline, Jean, Cyril, Laurence. D'autre m'ont gracieusement autorisé à utiliser leurs magnifiques photographies pour illustrer ce mémoire : Ingrid Peuziat, Erwan Le Cornec (Géos-AEL), Frédéric Mogenot (DDTM29) merci à vous.

Ces dernières années, l'invitation qui m'a été faite de participer aux activités de l'OHM Littoral-Caraïbe a donné une impulsion nouvelle à mes travaux (sans doute pas très perceptible dans ce mémoire, mais davantage dans le second volume), en m'offrant la très belle opportunité de découvrir de nouveaux horizons géographiques, thématiques et méthodologiques. Merci à Pascal Jean Lopez, Eric Foulquier, Richard Raymond, Jean-Luc Jung

de m'avoir entraîné dans ces voyages exotiques. Merci également à toutes celles et ceux avec qui je les ai partagés : Colette Ranély Vergé-Dépré, Roméo Terral, Bénédicte Madon, Emilie Lerigoleur, Arnaud Jean-Charles, et bien d'autres.

Je dois évidemment énormément aux étudiants de tous niveaux que j'ai eu l'occasion de rencontrer dans mon métier, ce qui, je le trouve, en constitue l'un des aspects les plus gratifiants. Je remercie en premier lieu, bien sûr, les étudiants du master EGEL pour leur énergie, leur créativité et leur pétulance qui rejaillissent sur nous au quotidien et nous obligent constamment à nous dépasser, mais en essayant quand même de rester sur la voie... Bien qu'on y retrouve ces ingrédients, le contexte de la licence est bien entendu assez différent car les étudiants, plus jeunes, moins sûrs de leur chemin, ne sont pas toujours et pas tous autant motivés. L'âge de la licence est, pour beaucoup, celui de la découverte de l'âge adulte, de ses possibilités et de ses contraintes, ainsi que des choix qui vont conduire à l'élaboration d'un projet de vie, notamment professionnel. Je pense que l'Université joue un rôle majeur dans cette maturation, offrant ainsi une contribution essentielle au fonctionnement de notre société. Espérons que ce rôle, fort mal reconnu, puisse se perpétuer encore longtemps... Enfin, je n'oublie pas les étudiants des autres formations avec qui j'ai eu la chance de travailler ou que j'ai eu l'occasion de côtoyer au laboratoire, dans le cadre de l'école doctorale, des stages, des thèses, etc.

Il me reste enfin à remercier les amis et la famille au sens large, avec lesquels j'ai le bonheur de partager tant d'activités culturelles, sportives, gastronomiques, et festives, parfois débridées, mais toujours placées sous le signe de la pondération, de la réflexion collective et du débat. En particulier, je remercie mes relecteurs bienveillants, mais perspicaces, de Landévennec, Michou et Hervé Le Berre, pour leur soutien de toujours.

Enfin, de toute évidence, je dédie ce mémoire à Cécile, Fragan et Mona, avec qui nous partageons le tourbillon de la vie quotidienne, et qui nous soutiennent et nous supportent sous le soleil, la pluie, le vent et quelle que soit la température.

Merci à tous.

Sommaire

Introduction	1
Partie 1 : Objet de la recherche	3
1. Contexte général : évolution et enjeux de l'occupation du littoral	4
2. Positionnement scientifique	31
Partie 2 : Contribution à l'étude des changements d'occupation et d'usage du littoral	75
3. Cartographie de l'occupation du littoral et de son évolution	76
4. Analyse des facteurs déterminants : la modélisation de l'urbanisation résidentielle	85
5. Occupation, usage et vulnérabilité du littoral aux risques côtiers.....	108
Partie 3 : Perspectives de recherche, trajectoires d'occupation du littoral	137
6. Trajectoires d'occupation et d'usage du littoral, déterminants et conséquences.....	139
Conclusion générale	169
Bibliographie.....	173
Table des figures	201
Liste des tableaux.....	202
Table des matières	203
Résumé	207
Abstract	208

Introduction

À l'interface entre les domaines marin et terrestre, le littoral est depuis longtemps pourvoyeur de ressources essentielles pour les sociétés humaines, qu'elles soient halieutiques, minérales, énergétiques ou bien récréatives (Gamblin, 1998). Depuis l'Antiquité, il est également devenu un important espace d'échanges plus ou moins amicaux, à l'origine d'aménagements dont l'emprise n'a cessé de s'étendre. À la fin de l'Époque moderne, par un certain retournement de valeurs, il est devenu porteur d'aménités paysagères, hygiénistes, puis récréatives (Corbin, 1990). Mais la cohabitation avec la mer est difficile. Elle comporte d'importantes contraintes et des risques, qu'ils soient naturels (Carter, 1988 ; Lageat, 2004 ; Masselink et Gehrels, 2014), ou humains (Braudel, 1990 ; Nonn, 1972). Tant que ses moyens techniques sont restés limités, l'homme a essentiellement subi ces contraintes, puis, à partir de la révolution industrielle, il est parvenu à aménager les rivages, notamment par la conquête de nouvelles terres, pour s'y installer et y développer ses équipements (Hudson, 1996 ; Wolff, 1992).

Cependant, par leurs caractéristiques intrinsèques – espace limité spatialement entre terre et mer, milieux dynamiques et très originaux à l'échelle de la planète – les systèmes littoraux montrent une certaine sensibilité face à ces changements d'occupation et d'usage et à leur intensification : leurs ressources sont dégradées ou détruites, l'espace qui vient à manquer fait l'objet de vives compétitions, les aménagements et les activités se trouvent de plus en plus exposés aux aléas littoraux (Carter, 1988 ; Lacaze, 1993 ; Paskoff, 1992). Depuis plusieurs décennies, le littoral est donc placé au cœur d'enjeux sociétaux et environnementaux majeurs, qui ont motivé la mise en place de politiques et de dispositifs réglementaires spécifiques, visant à en assurer le développement durable et la gestion intégrée (Cicin-Sain et Knecht, 1998 ; Merckelbagh, 2009 ; Vallega, 1999).

Pour autant, malgré la multiplication des dispositifs, la pression exercée sur le littoral continue à s'accroître, « *pendant la protection, l'urbanisation continue* » (Robin et Verger, 1996), les tensions foncières augmentent (Buhot *et al.*, 2009 ; Casanova Enault *et al.*, 2021), l'exposition des aménagements aux aléas se matérialise par la création d'espaces de risque (Meur-Ferec et Morel, 2004 ; Vinet *et al.*, 2012). Ce constat est à l'origine des questionnements qui fondent les travaux de recherche que j'ai choisi de présenter dans ce mémoire. Observer l'évolution de l'occupation du littoral, en analyser les facteurs déterminants et en évaluer certaines conséquences constituent l'objet d'une partie des recherches auxquelles j'ai contribué au cours de la vingtaine d'années qui ont suivi ma titularisation en tant que maître de conférences en géographie.

Au sein de ce parcours marqué par la diversité des partenariats, des projets et des sujets de recherche (cf. vol. 2), le contenu de ce mémoire résulte d'un choix thématique et de plusieurs partis pris méthodologiques. Employer la notion d'occupation du littoral constitue un premier parti pris. L'occupation du sol renvoie en effet à un état de surface physique qui découle de la nature des sols, de la couverture végétale, ainsi bien sûr que des aménagements humains.

L'usage du sol, notion complémentaire, exprime davantage les liens fonctionnels qu'entretiennent les sociétés humaines avec leur sol, c'est-à-dire la manière dont elles s'approprient, parcourent, exploitent et consomment leur espace (Corgne, 2014 ; Robin, 1995). L'occupation privilégie la vue du dessus, celle de l'imagerie photographique et satellitaire, plutôt que la vue du dedans qui est celle à laquelle nous sommes quotidiennement confrontés dans notre représentation du paysage et de notre espace de vie. Elle permet de s'affranchir, dans notre représentation de la terre, des contraintes de perspective, des masques et obstacles visuels imposés par la topographie, la végétation, les édifices humains. Elle permet de mieux saisir « l'entière » d'un espace et des relations spatiales qui les relient : continuités et ruptures, fragmentation, hétérogénéité, etc. L'usage du sol est une notion plus fonctionnelle qui, outre la cartographie, nécessite l'exploitation de données complémentaires, qu'elles soient statistiques, réglementaires, ou reposent sur la pratique du terrain et de ses acteurs. *Dans ce mémoire, ces notions seront employées alternativement lorsqu'il sera nécessaire de les distinguer en fonction du sens donné par ces définitions.*

Ce que révèlent l'occupation et l'usage du sol, ce sont des dynamiques naturelles et surtout anthropiques, liées à l'installation, l'exploitation, l'aménagement et la projection de la société dans son espace et dans ses territoires : urbanisation, aménagements industriels, infrastructures ou touristiques, intensification ou déprise agricole, protection de l'environnement, etc. Ces deux notions biophysiques et sociales se situent donc au cœur du projet de la géographie en tant que discipline scientifique qui s'intéresse aux relations spatiales entre l'homme et les milieux, de l'homme dans son environnement. Dans le vaste panel de méthodes mobilisées par la géographie, la géomatique offre un cadre conceptuel et méthodologique particulièrement pertinent pour « *acquérir, gérer, analyser et représenter l'information géographique* » permettant d'étudier l'évolution du littoral (CNIG, 1994 ; Thiébaux, 2008). La géomatique constitue donc le second parti pris de ce mémoire, notamment au travers de l'utilisation des Systèmes d'information géographique (SIG), comme « *environnement de travail* » très approprié pour relier les compartiments écologiques et humains des systèmes littoraux, par l'intégration de données de nature variée au sein de bases d'information géographiques cohérentes (Cuq, 1993).

Sur la base de ces choix, ce mémoire se propose de restituer un parcours de recherche en trois parties. Il s'ouvre sur un premier chapitre généraliste, destiné à présenter les changements d'occupation du littoral qui constituent l'objet géographique et thématique de mes travaux. Le second chapitre dresse un bilan des recherches auxquelles j'ai contribué sur cette question. Ces deux premiers chapitres participent au bilan d'une partie de mes recherches. C'est-à-dire qu'à quelques exceptions près, ils reposent sur des travaux déjà publiés, dont on n'aura aucun mal à établir la filiation. La troisième partie de cette HDR, celle consacrée aux perspectives de recherche est donc la plus originale. On ne saurait toutefois la qualifier d'inédite, dans la mesure où elle s'appuie sur les réflexions collectives engagées avec de nombreux collègues, dans le cadre de plusieurs projets déjà amorcés ou à venir.

Partie 1

Objet de la recherche

Le littoral, peut-on lire, est le lieu de vie de 40% de la population mondiale, soit près de 2,4 milliards d'êtres humains¹. Cette population occupe 28 % des littoraux du monde (Martínez *et al.*, 2007). Elle les a aménagés en fonction de ses différents usages. L'essentiel des modifications est dû à l'agriculture, qui occupe de manière exclusive 12 % des littoraux, auxquels s'ajoutent 10 % constitués d'une mosaïque d'espaces cultivés et naturels. Les espaces urbanisés au sens strict n'occupent que 6 % des littoraux. Mais ces estimations portent sur une bande côtière de 100 km. Qu'expriment-elles au juste ? Peut-on rationnellement considérer que le littoral s'étend aussi loin de la côte ? Quels critères retenir pour caractériser les spécificités de l'espace littoral ? Comment le délimiter ?

Cette partie s'attachera en premier lieu à définir l'acception du littoral à laquelle se réfèrent les travaux présentés dans ce mémoire. Sur ce littoral, les sociétés humaines ont très tôt trouvé des ressources variées, notamment vivrières, ainsi que des espaces refuges ou porteurs d'aménités (Charpentier, 2013 ; Gamblin, 1998 ; Nonn, 1972). Nous évoquerons donc ensuite les motivations qui ont poussé ces sociétés à s'implanter sur le littoral, leur évolution, ainsi que les enjeux qui en découlent. Cette présentation permettra de revenir sur quelques-unes des principales questions de la recherche contemporaine sur l'occupation et l'usage du littoral en France, son évolution et son avenir, dans un contexte extrêmement dynamique à divers points de vue : démographique, économique et, bien sûr, environnemental.

Ces bases contextuelles rappelées, le second chapitre sera consacré à la présentation de mon positionnement scientifique : le cadre conceptuel et méthodologique, le terrain et les questionnements à l'origine de mes travaux de recherche.

¹ Voir par exemple : <https://www.unenvironment.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/working-regional-seas/coastal-zone-management> ou bien <https://www.un.org/sustainabledevelopment/wp-content/uploads/2017/05/Ocean-fact-sheet-package.pdf>

1. Contexte général : évolution et enjeux de l'occupation du littoral

Ce chapitre² débute par un rappel des particularités du littoral, et des fondements de son attractivité. Les facteurs de son occupation et de ses usages sont ensuite plus spécifiquement abordés, suivis par une description de ses effets sur le littoral, avant de conclure par les problématiques de recherche que soulève son étude et dans lesquelles s'inscrivent les travaux auxquels j'ai contribué depuis le début de ma carrière de géographe.

1.1. Le littoral, un objet géographique complexe entre nature et société

Définir le cadre spatial du littoral peut paraître un exercice relativement convenu au regard des multiples travaux qui s'y sont déjà consacrés. Mais au-delà d'un cadre géographique, le littoral est l'un des termes constituant l'objet de recherche sur lequel portent mes travaux. Il présente en effet des spécificités géographiques et environnementales qui en rendent, certes, la délimitation assez complexe et sujette à discussion, mais qui méritent d'être rappelées, car elles fondent l'attrait qu'exerce cet espace sur les sociétés humaines. Ce sont bien ses qualités d'interface entre terre et mer, et les milieux très productifs qui découlent de cette situation particulière, qui ont de tout temps motivé l'occupation du littoral, malgré les contraintes parfois rigoureuses qu'il impose. Ces contraintes et les pressions engendrées par l'attrait pour le littoral et ses ressources déterminent aujourd'hui les enjeux majeurs auxquels sont confrontés son occupation et son usage.

À l'échelle mondiale, selon une estimation très générale (Martínez *et al.*, 2007), le littoral occupe un linéaire de plus de 1,6 million de km, sur lequel 84 % des nations ont une façade ouverte sur l'océan ou sur des mers intérieures. Une telle estimation n'a bien entendu qu'une valeur relative compte tenu de la dimension éminemment fractale du trait de côte (Mandelbrot, 1967)³. En effet, bien que sa longueur puisse constituer un facteur géopolitique important, ainsi qu'un enjeu d'aménagement⁴, le littoral ne saurait être considéré comme une simple ligne. Il se définit avant tout comme une frange de largeur variable où se rencontrent et interagissent des dynamiques naturelles terrestres, marines et atmosphériques (Lageat, 2004 ; Masselink et Gehrels, 2014 ; Paskoff, 2010), auxquelles s'ajoutent les dynamiques propres aux sociétés humaines et à leurs activités (Bruyelle, 1998 ; Perrin, 2013b ; Robert et Melin, 2016). Comment délimiter cette marge exigüe entre terre et mer ? De nombreux critères existent, au sein desquels on peut distinguer des critères biophysiques, géométriques et juridico-administratifs (Lamacchia, 2013).

Le littoral est le lieu d'échanges de nature variée qui s'effectuent sous forme de différents types de flux, qu'ils soient liés à l'érosion des bassins versants, au transport de matériaux naturels

² Il est largement inspiré de la contribution rédigée dans le cadre de l'Expertise collective IFSTTAR, INRA sur l'artificialisation des sols (Le Berre, 2017)

³ Voir aussi <http://www.viewsoftheworld.net/?p=5340>

⁴ Les aménagements portuaires visent notamment à augmenter le nombre de postes à quais et de terminaux alors que, à l'inverse, certains aménagements entrepris à des fins de protection contre la mer peuvent chercher à réduire la longueur du trait de côte, à l'exemple du Projet Delta néerlandais.

(sédiments, embruns) ou anthropiques (polluants), véhiculés par différents types d'agents continentaux (réseau hydrographique), marins (houles, courant) et atmosphériques (vent). Ces flux ont des implications géomorphologiques sur le littoral (érosion côtière, dérive littorale, submersion marine, etc.) dont les évolutions s'observent à des échelles spatiales et sur des durées extrêmement variées, depuis les phénomènes météo-marins de faible fréquence et de forte magnitude, jusqu'aux évolutions pluridécennales des « ambiances climatiques », en passant par les variations saisonnières de l'intensité des processus littoraux (Hénaff *et al.*, 2013). Les délimitations qui peuvent être établies en considérant ces processus présentent donc des dimensions variables, depuis la zone intertidale, très restrictive et surtout peu opérante pour traiter de l'occupation du littoral, jusqu'aux larges espaces couverts par les fluctuations du niveau de la mer durant l'holocène, adoptés par exemple par le programme LOICZ (Holligan et De Boois, 1993) bien qu'ils s'étendent des plaines côtières jusqu'aux abords du plateau continental.

Les processus qui se réalisent à l'interface entre terre et mer produisent une grande diversité de littoraux, où s'établissent des écosystèmes originaux capables de supporter des conditions difficiles et changeantes : variations de température et de salinité, cycles d'émersion-immersion par les marées, exposition aux agents hydrodynamiques, mobilité du substrat sédimentaire, etc. (Dauvin, 1997 ; Masselink et Gehrels, 2014). Ils figurent parmi les plus productifs de la planète⁵, notamment par leur fonction d'habitat pour de nombreuses espèces végétales et animales (Agardy et Alder, 2005). En tant qu'espaces tampons entre domaines terrestre et marin, ils exercent un rôle majeur dans le maintien des équilibres écologiques et hydrologiques à différentes échelles, de locale à régionale (épuration des eaux continentales, place dans les cycles biologiques et les chaînes trophiques de nombreuses espèces marines et aviaires), jusqu'à l'échelle globale (régulation physico-chimique et climatique) (Euzen *et al.*, 2017). Divers critères écologiques peuvent ainsi être employés pour délimiter les milieux littoraux en fonction de l'influence de facteurs limitants tels que l'étagement dû à la marée ou à la pénétration de la lumière, l'exposition aux agents météo-marins (profondeur maximale d'influence de la houle ou aspersion par les embruns), ou la salinité dans les marais maritimes, les systèmes lagunaires et les embouchures des fleuves (Day, 2013 ; Deboudt, 2010). Si ce type de critère est effectivement employé à des fins scientifiques (tels les espaces sub-, infra-, inter- et supra-tidaux) ou de conservation de l'environnement – comme par exemple dans les nomenclatures standardisées des habitats naturels (Bensettiti *et al.*, 2004 ; Commission européenne, 1999) – ils sont peu considérés dans les délimitations administratives, réglementaires ou fonctionnelles du littoral.

Dans de nombreuses régions du monde, une part importante des espaces littoraux est longtemps restée rattachée au domaine public, permettant ainsi à toute une population relativement démunie de subsister en tirant parti des ressources de ces « communs » (Ávila-García et Sánchez, 2012 ; Charpentier, 2013 ; Elkind, 2006 ; Perrin, 2013a). Mais la liberté d'exploitation de ces communs, puis leur privatisation par les usagers les plus puissants

⁵ Productivité primaire annuelle nette (kg/m²/an) : marais maritimes 2, récifs coralliens 2,5, forêt tropicale humide 2,2.

(Ávila-García et Sánchez, 2012 ; Booker, 2012 ; Cabral et Aliño, 2011), associées à la densification et à l'intensification de l'occupation et des usages des milieux littoraux, se sont progressivement traduites par leur dégradation, voire leur destruction (Booker, 2012 ; Michelot, 2017). Les littoraux les plus convoités se sont ainsi peu à peu vus dotés de délimitations administratives et réglementaires visant à contrôler, si ce n'est maîtriser, leur organisation territoriale, leur aménagement et l'exploitation de leurs ressources (Hopley, 1988 ; Norton, 2005 ; Benoit et Comeau, 2005). L'exemple de la France témoigne de la multiplication des dispositifs. On peut y distinguer des délimitations géométriques par bandes (à terre la bande de 100 m de la loi Littoral, la bande de 15 km des SCoT ; en mer les bandes des 300 m, 3 milles, 12 milles marins), des délimitations juridiques et administratives : mer territoriale, zone économique exclusive en mer, et à terre les espaces naturels remarquables ou les communes de la loi Littoral (Meur-Ferec, 2007 ; Perrin, 2013a). Malgré leur multiplication, ces découpages administratifs et réglementaires présentent généralement deux limitations principales : en premier lieu, leur délimitation tient rarement compte du fonctionnement des écosystèmes, ce qui les rend souvent peu appropriés pour leur gestion ; en second lieu, ils sont pour la plupart sectoriels, c'est-à-dire qu'ils ont été promulgués pour répondre à des enjeux spécifiques, dans des espaces déterminés. Ces dispositifs sectoriels s'avèrent par conséquent difficiles à mobiliser efficacement pour une gestion durable et intégrée du littoral (Baron, 2017 ; Meur-Ferec, 2007).

« Plus qu'un simple trait, la zone côtière doit être vue comme un espace à géométrie variable dont les limites à terre et en mer se définissent en fonction de l'enjeu ou du problème posé et des réponses à apporter » (Conseil Régional de Bretagne, 2013). Conforme à celle proposée par la FAO⁶, cette définition établie dans la Charte des espaces côtiers bretons – document stratégique élaboré en concertation avec divers acteurs politiques, économiques et associatifs au service d'une politique maritime intégrée régionale – confirme le caractère multiscalaire du littoral, en fonction des enjeux et des problématiques considérés. En effet, aux périmètres de gestion et de réglementation, s'ajoutent les territoires de vie des populations littorales (Vye, 2011). On peut ainsi terminer ce rapide et non exhaustif tour d'horizon par les délimitations qui résultent d'interdépendances institutionnelles et surtout fonctionnelles à différentes échelles : bassins de vie, zones d'emploi, aires urbaines, etc. Bien que non spécifiques du littoral, elles en dessinent les territorialités (Merckelbagh, 2009). Dans cet esprit, les notions d'arrière-pays (*hinterland*) et d'avant-pays (*foreland*) qui, dans leur sens strict, traduisent l'aire de desserte maritime et terrestre entre un port et son bassin commercial (Verlaque, 1975), s'emploient désormais communément pour matérialiser les relations non seulement économiques, mais également sociales et culturelles entre le littoral et ses espaces terrestres et maritimes proches (Corlay, 2003 ; Deboudt, 2010 ; Lebahy, 2004).

On voit qu'il est difficile d'identifier des critères faisant consensus qui permettraient de délimiter précisément le littoral, que ce soit en tant qu'objet scientifique ou d'espace de gouvernance, porteur de forts enjeux. S'il ne peut être délimité, il ne faut pas pour autant renoncer à le définir. Une définition courante peut d'ailleurs être formulée comme suit : un

⁶ <http://www.fao.org/forestry/icam/4302/fr/>

espace de largeur variable qui s'étend de part et d'autre du trait de côte et dans lequel s'influencent réciproquement terre et mer (Corlay, 2003 ; Deboudt, 2010 ; Perrin, 2013a). C'est ici la qualité d'interface qui est mise en exergue, le littoral constituant non pas une limite, mais un espace ouvert, d'échanges multiples, entre milieux marins et continentaux (fig. 1.1).

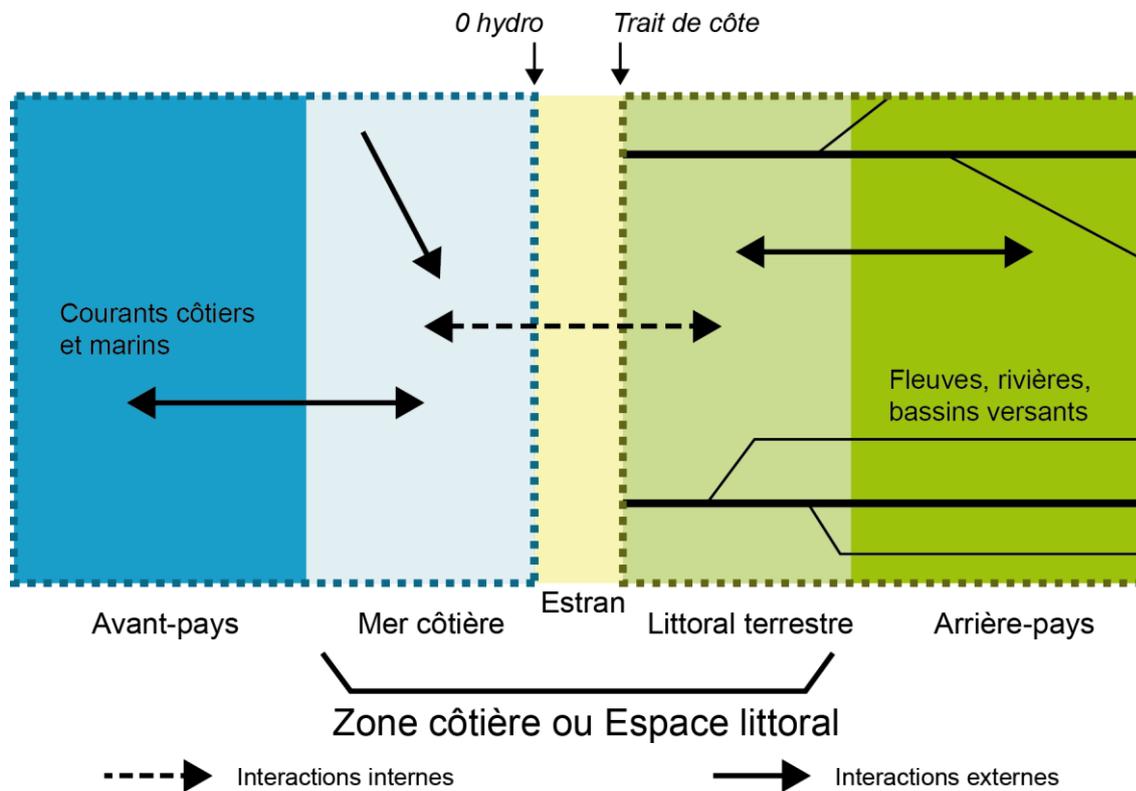


Figure 1.1 : le littoral système d'interface (d'après Corlay, 2003).

Du fait de ses contours flous, le littoral constitue justement un objet géographique d'intérêt majeur pour la recherche en géographie. Dynamique et ouvert, en tant qu'interface entre terre et mer, et tout autant entre hommes et milieux, il est au cœur d'enjeux environnementaux, économiques et sociaux d'échelles locale à globale. Ces enjeux font écho aux plus importantes mutations contemporaines de notre société, qu'elles découlent de la littoralisation de la population et des activités, de la mondialisation et de la maritimisation de l'économie, ou bien de la concurrence pour l'accès aux ressources et aux aménités que procure cet espace, et aux pressions foncières, conflits et processus de ségrégation sociospatiale qu'elle engendre.

L'occupation et l'usage du sol constituent des indicateurs très pertinents de ces dynamiques, car c'est bien la diversité des milieux littoraux et la richesse de leurs ressources vivantes, minérales, énergétiques, paysagères et récréatives que convoitent les usagers du littoral. Présenter les facteurs déterminants et les conséquences de l'occupation du littoral au regard de ses particularités environnementales et anthropiques constitue l'objet de cette première partie. Ce diagnostic vise également à dégager les questions de recherche liées à l'occupation et à l'usage du littoral.

1.2. Le littoral convoité : histoire et facteurs déterminants

La répartition de la population littorale est très inégale à l'échelle de la planète, en fonction notamment des contraintes imposées par le milieu : froid des terres arctiques et, dans une moindre mesure, aridité des déserts côtiers intertropicaux (Noin, 1999). Dans les espaces littoraux « pleins » (Gamblin, 1998), la forte population relève surtout de facteurs historiques. « *Les accumulations humaines qui sont observées aujourd'hui se sont formées peu à peu, au cours des deux ou trois derniers siècles, d'abord par le moyen d'une mise en valeur agricole soignée, ensuite grâce à une bonne utilisation des ressources de la mer, enfin et surtout grâce au développement des activités secondaires et tertiaires* » (Noin, 1999). Entre héritages et mutations socio-économiques, les littoraux connaissent depuis la fin du XIXe siècle à la fois une intensification et une diversification de leur occupation.

1.2.1. Des ressources variées et attractives pour les sociétés humaines

Très tôt, sur la plupart des littoraux, les sociétés humaines ont su tirer parti de la diversité des ressources offertes par les écosystèmes pour leur alimentation (protéines fournies par la pêche notamment), ou pour l'exploitation de matériaux à diverses fins : agricole (amendements, engrais), construction (pierre, granulats), proto-industrielle (sel, soude) (Erlandson et Braje, 2015 ; Faure *et al.*, 2002 ; Paillet et Nicolas, 2019). Au-delà de leur intérêt local, certaines de ces ressources sont devenues la base d'échanges commerciaux conséquents et durables (Thumerelle, 1998). C'est par exemple le cas du sel, des produits de la pêche sous divers conditionnements (fumage, salage, puis conservation-appertisation) (Nonn, 1972), ou d'autres ressources telles que le guano (source de phosphate). Par ailleurs, la qualité des sols alluvionnaires des plaines littorales et leur climat relativement modéré ont également constitué un support propice au développement des activités agricoles depuis des temps anciens (Braudel, 1990 ; Wolff, 1992). Depuis ces exploitations pionnières, de nouvelles ressources se sont ajoutées à l'attrait qu'exerce le littoral sur les sociétés humaines, qu'elles soient touristiques, récréatives et paysagères, ou énergétiques avec l'engouement et les espoirs liés au développement des énergies marines renouvelables (tab. 1.1).

Pour tirer parti de ces ressources, les hommes se sont implantés à leur proximité, constituant des sociétés originales, parfois même marginales (Charpentier, 2013 ; Gotô, 2017), mais le plus souvent intégrées dans des circuits d'échanges avec un arrière-pays et des horizons maritimes plus ou moins larges. Au cours de l'histoire, le littoral a ainsi souvent joué un double rôle d'espace de pénétration dans les continents, et d'échanges (Nonn, 1972). Mais « *il ne faudrait pas estimer trop hâtivement que, par essence, les régions littorales sont favorisées ou l'ont toujours été. Tel rivage autrefois marécageux a été bonifié, alors que tel autre, anciennement prospère, s'est trouvé ruiné par la piraterie, la recrudescence de la malaria ou quelque autre fléau* » (Braudel in Nonn, 1972).

Site et situation, deux notions de la géographie classique, fournissent une base d'explication rationnelle des choix initiaux d'implantation des activités et des aménagements humains sur les littoraux, et de leur devenir. Au plan local, les caractéristiques de certains sites – qu'elles soient liées à leur topographie, leur hydrographie, ou leur salubrité – peuvent favoriser des fonctions d'abri défensif ou portuaire (Provansal *et al.*, 1995 ; Wolff, 1992), de même que la rupture de charge entre terre et mer, comme dans le fond des baies abritées ou des estuaires

(Bruyelle, 1998) (fig. 1.2). Par exemple, dans les anciennes colonies antillaises (Potter, 1993), l'implantation des bourgs dans la plaine littorale ainsi qu'à l'embouchure des rivières visait à faciliter le développement du commerce (Goiffon, 2003b).

Tableau 1.1 : Services environnementaux fournis par les habitats côtiers dans le monde (d'après Agardy et Alder, 2005 ; Masselink et Gehrels, 2014)

Services directs et indirects		Estuaires et marais maritimes	Lagunes et étangs salés	Mangroves	Plages et dunes	Estrans rocheux et champs d'algues	Récifs rocheux et coquilliers	Herbiers	Récifs coralliens
Services d'approvisionnement	Nourriture	●	●	●	●	●	●	●	●
	Matériaux de construction, énergie	●	●	●	●	●			
	Ressources médicales et autres	●	●	●		●			●
Services de régulation	Régulation biologique	●	●	●	●	●			●
	Stockage et rétention d'eau	●	●						
	Équilibre hydrologique	●	●						
	Régulation atmosphérique et climatique	●	●	●	●		●	●	●
	Santé, épidémiologie	●	●	●	●		●	●	●
	Traitement des déchets	●	●	●			●	●	●
	Protection contre les tempêtes et les inondations	●	●	●	●	●	●	●	●
	Contrôle de l'érosion	●	●	●	●	●	●	●	●
Services culturels	Culture et aménités	●	●	●	●	●	●	●	●
	Loisirs, récréatifs	●	●	●	●	●			●
	Esthétiques et paysager	●	●	●	●	●			●
	Éducation et recherche	●	●	●	●	●	●	●	●
Services de soutien	Biodiversité	●	●	●	●	●	●	●	●
	Biochimiques	●		●		●			●
	Fertilité et cycles nutritionnels	●	●	●	●	●	●		●

N. B. La largeur des cercles représente l'importance relative des services écosystémiques

À l'échelle régionale, la qualité d'un lieu s'évalue en fonction de sa situation stratégique par rapport à l'accès aux ressources halieutiques et terrestres, aux voies de navigation et d'échange, ou bien à la surveillance et au contrôle d'un territoire. L'essor des grandes thalassocraties antiques (Tyr, Athènes, Carthage) ou médiévales (Venise, ligue hanséatique) a reposé sur le contrôle des routes du grand commerce d'épices, de soie, d'or, et sur leur redistribution vers l'Europe occidentale par terre et par mer, contribuant ainsi à la diffusion urbaine (Braudel, 1990 ; Gamblin, 1998 ; Morhange et Marriner, 2010 ; Nonn, 1972).

Plus globalement, les climats littoraux relativement pondérés par rapport à leurs nuances continentales, associés aux facilités d'aménagement et à la qualité particulière des sols alluviaux des plaines côtières, auxquels s'ajoutent les apports de l'arrière-pays, notamment en eau, fondent les bases d'une agriculture littorale particulièrement riche et diversifiée : plaines et deltas du Sud-Est asiatique (Noin, 1999), ou de Méditerranée (Guillén et Palanques, 1997 ; Simeoni et Corbau, 2009), polders des rivages de la mer du nord (Wagret, 1959 ; Wolff, 1992), plaines littorales des plantations coloniales (Goiffon, 2003b ; Potter, 1993).



Figure 1.2 : Landerneau, et son célèbre pont habité, lieu de passage obligé et de rupture de charge en fond d'estuaire (source : J.-M., Villard, Archives départementales du Finistère, cote : FRAD029_21FI_02046_03)

Généralement, ces facteurs se combinent pour fonder les potentialités de chaque lieu. Mais, loin d'un déterminisme strict, leur influence évolue en fonction des us, coutumes et techniques mis en œuvre par les groupes sociaux selon les époques (Gamblin, 1998)⁷.

⁷ Voir aussi le site Hypergéô : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article3>

1.2.2. Facteurs socio-économiques « modernes »

Tous ces héritages ont pu se trouver obérés ou renforcés par les évolutions économiques et démographiques engendrées par la Révolution industrielle, ainsi que par les mutations sociétales qui les accompagnent.

Urbanisation littorale et métropolisation

En 1999, Daniel Noin estimait que dans 60 % des pays ayant une façade maritime, les villes principales (plus de 100 000 habitants) étaient situées en bord de mer et abritaient 70 % de la population urbaine (Noin, 1999). Ces populations se sont concentrées progressivement dans les villes portuaires antiques ou médiévales, comme en Extrême-Orient, dans le bassin méditerranéen et sur les pourtours de la Baltique ou de la mer du Nord. Dans d'autres régions, une part importante des villes littorales doit son origine aux expansions coloniales et aux migrations transocéaniques, essentiellement européennes entre le XVI^e et le début du XX^e siècle que ce soit vers l'Amérique, l'Australie ou l'Afrique du Sud. De grandes villes y ont ainsi été fondées *ex nihilo* (Gamblin, 1998), comme Rio de Janeiro, Boston ou Sydney. Symétriquement, les littoraux des métropoles ont bénéficié de l'essor colonial par la création de nouvelles bases militaires (Brest, Lorient, Le Havre, etc.), et par la fortune des ports animés par le trafic et la redistribution des richesses d'outre-mer : Séville, Hambourg, Amsterdam (Bruyelle, 1998 ; Kilmister *et al.*, 1978). De fait, la plupart des grandes agglomérations littorales et en particulier des métropoles dominantes comme Londres, New York et Tokyo doivent une partie de leur puissance à leur trafic maritime passé ou présent (Hudson, 1996 ; Noin, 1999).

Maritimisation de l'économie mondiale et développement portuaire

L'augmentation globale du trafic maritime, l'accroissement de la taille des navires, de même que celle des surfaces requises pour les activités commerciales et industrielles, ont conduit à l'aménagement de zones portuaires de plus en plus étendues, permettant d'optimiser le stockage et la manutention des marchandises, tout en accueillant des activités industrielles susceptibles de générer d'importantes nuisances pour les riverains : pollution, bruit, risques (Marnot, 2015 ; Verlaque, 1975).

Les rapports entre ville et port sont alors à la fois fondés sur des relations de complémentarité et de concurrence, voire de blocages réciproques en fonction des sites, orientant ainsi l'artificialisation vers l'aval et la mer, ou bien vers l'intérieur (Ducruet, 2008, 2017). Faute de place, la ville doit parfois gagner sur la mer sous forme de quartiers flottants (Hong Kong, Bangkok) ou de polders (Hudson, 1996), tels ceux aménagés pour les aéroports de Sydney, Hong Kong ou Nice (Gamblin, 1998). De fait, tout particulièrement sur le littoral, les extensions portuaires s'effectuent notablement en dehors des villes.

Villégiature et tourisme

Sur tous les littoraux présentant des aménités paysagères ou balnéaires, le tourisme constitue un facteur d'urbanisation essentiel (Blondy, 2016 ; Burak *et al.*, 2004 ; Gonzalo Malvarez *et al.*, 2000). Si l'attrait pour le littoral s'exerçait déjà dans l'antiquité, son occupation par le tourisme est plutôt récente puisqu'elle découle de l'évolution des goûts de la société (*et en premier lieu de*

ses élites aristocratiques et bourgeoises), de l'élévation des revenus des ménages et de l'explosion de la mobilité (Bon, 2005 ; Zaninetti, 2006). Le « désir de rivage » (Corbin, 1990) repose surtout sur les aménités spécifiques du littoral, qu'elles soient climatiques (qualités thérapeutiques de l'air marin « iodé », ensoleillement), paysagères (dimension esthétique, "artialisée" et valorisée de la vue sur mer) ou bien balnéaires et récréatives, notamment liées aux activités nautiques : plaisance, sports de glisse (Anderson, 2014 ; Peuziat, 2005 ; Ullmann, 1954).

À partir du XIXe siècle, en France et plus largement en Europe, l'implantation des villégiatures aristocratiques et bourgeoises précèdera la construction de stations climatiques, puis balnéaires, conçues autour de modèles urbanistiques et architecturaux spécifiques, associant front de mer, grands hôtels et casino (Gamblin, 1998 ; Nonn, 1972 ; Towner, 1996) (fig. 1.3). La massification du tourisme, à partir des années 1920, conduira à l'aménagement de plusieurs générations de stations balnéaires, parfois construites *ex nihilo*, souvent conçues autour de marinas pouvant abriter plusieurs centaines de bateaux de plaisance (Carter, 1988 ; Larrosa Rocamora, 2003). Ces stations, généralement issues d'opérations d'aménagement lourdes et planifiées (à l'exemple du Plan Racine sur la côte languedocienne), constituent ensuite des noyaux d'urbanisation diffuse et peu encadrée (Cadoret et Lavaud-Letilleul, 2013 ; Merlin, 2008). Le développement touristique d'abord saisonnier (camping sauvage, caravanage, paillotes) qui tend à s'y sédentariser de manière plus ou moins légale (Larrosa Rocamora, 2003), la construction mal maîtrisée des résidences secondaires, aboutissent au mitage des espaces agricoles et naturels et à une forte consommation des espaces littoraux aux conséquences multiples : paysagères, foncières, sociales, fonctionnelles (Daligaux, 2003 ; EEA, 2006a).



Figure 1.3 : La plage de Morgat et son Hôtel de la mer avant-guerre : des villas, des pins, mais pas encore d'explosion résidentielle (source : Archives départementales du Finistère, cote FRAD029_2FI042_071)

Effarouchées par ces implantations massives, populaires et pas toujours esthétiques, les catégories aisées et mobiles à l'origine de ce tourisme balnéaire privilégient désormais des destinations plus lointaines et exotiques, diffusant dans le même temps ce modèle touristique et les formes d'artificialisation associées à l'échelle mondiale (Bruyelle, 1998 ; Merlin, 2008).

Choix résidentiel et urbanisation diffuse

Plus récemment encore, les mêmes facteurs (élévation des revenus, diffusion de nouveaux comportements) se combinent à l'allongement du temps libre (congés payés, réduction du temps de travail, retraite), à l'amélioration de l'accessibilité par les grandes infrastructures de transport (LGV, aéroports) et à la recherche d'un cadre de vie de qualité dans les choix résidentiels et professionnels (Zaninetti, 2006). Même s'il n'y est pas spécifique, ce phénomène est particulièrement développé sur le littoral qui combine toutes ces motivations pour attirer touristes et retraités, mais également actifs comme vers les *Sun Belts* nord-américaines ou les rivages ensoleillés de l'Europe méditerranéenne (Gamblin, 1998). En particulier, la diffusion de modes de vie liés au développement d'une société de loisirs, et notamment à la pratique de certaines activités récréatives nautiques (plaisance, surf), détermine des choix résidentiels qui tendent à renforcer l'urbanisation de ces littoraux particulièrement attractifs par leur climat et leurs conditions de pratique, principalement dans les pays développés (Bohnet et Moore, 2011 ; Gurran *et al.*, 2007, Vye, 2011).

Tous ces facteurs contribuent à l'urbanisation du littoral, notamment dans sa forme la plus diffuse, car le bâti individuel est largement privilégié (Zaninetti, 2006). En Europe, on distingue généralement plusieurs étapes (Gonzalo Malvarez *et al.*, 2000 ; Renard, 1984) qui débutent par une prolifération anarchique de constructions individuelles en dehors des noyaux urbanisés et au plus près du littoral. Cette phase de mitage est suivie d'une colonisation mieux organisée de l'espace agraire ou naturel par l'aménagement de lotissements. Mais ces formes d'urbanisation produisent souvent une banalisation architecturale, par exemple autour de la maison "néo-traditionnelle" des pavillonneurs comme sur les littoraux atlantiques de France métropolitaine. Dans une troisième phase enfin, des mesures réglementaires sont mises en place pour affecter les droits à construire dans certains secteurs et protéger les espaces considérés comme remarquables.

1.2.3. Facteurs législatifs et réglementaires

L'intensification de l'exploitation et de l'occupation des littoraux se traduit par une exacerbation des concurrences, susceptible d'exercer des pressions ou des impacts sur l'environnement, de contraindre ou de mettre en difficultés certaines activités, voire d'engendrer des conflits. Ces tensions ne sont pas spécifiques aux littoraux, car elles concernent tous les espaces à forte attractivité – périurbains notamment (Geniaux *et al.*, 2017 ; Martignac *et al.*, 2011) – mais elles sont amplifiées sur les littoraux, espaces restreints et aux ressources spécifiques par nature (Cuadrado-Ciuraneta *et al.*, 2016 ; EEA, 2006a). Cependant, dans de nombreux pays, souvent les plus développés, ces enjeux ont motivé la mise en place de dispositifs législatifs et réglementaires spécifiques visant à maîtriser la consommation d'espaces littoraux par l'urbanisation ou d'autres formes d'artificialisation et, surtout, à en protéger certains espaces remarquables.

Les règles du marché foncier ont longtemps dominé

Partout dans le monde, la politique du laisser-faire a longtemps dominé (Abrantes *et al.*, 2016 ; Gonzalo Malvarez *et al.*, 2000), conduisant à une artificialisation peu contrôlée, seulement structurée par les opportunités foncières et par des facteurs géographiques comme la proximité du littoral, des centres urbains, des axes routiers ou la topographie (Le Berre *et al.*, 2017 ; Martignac *et al.*, 2011 ; Norton, 2005) (fig. 1.4). Cette situation reste de mise dans de nombreux pays, notamment en voie de développement, qui souffrent de la faiblesse des outils de protection et de l'insuffisance du cadre réglementaire (Kuété et Assongmo, 2002).

L'urbanisation littorale repose par ailleurs sur la réutilisation d'un tissu foncier hérité de l'histoire de la mise en valeur agricole de l'espace (Courtot, 2011 ; Martignac *et al.*, 2011 ; Poinot, 2008). Qu'il soit dû à la concurrence pour le foncier et à la fragmentation des exploitations, ou qu'il en bénéficie par l'augmentation des plus-values foncières (Daligaux *et al.*, 2013), le recul des espaces agricoles constitue également un moteur de l'urbanisation du littoral. En Bretagne par exemple, l'extension de l'urbanisation est favorisée par une viabilisation généralisée liée à un habitat dispersé et un foncier morcelé propice à des constructions individuelles (Le Pape, 1993).



Figure 1.4 : Éparpillement résidentiel et fragmentation du foncier agricole à Portsall, nord Finistère (DDTM du Finistère, 1999)

Dans les DOM, le rôle de la structure foncière est double. D'une part, le morcellement de la propriété et la multiplication des indivisions sont à la source d'une forte confusion aboutissant soit au gel de toute urbanisation, soit au contraire à la multiplication des occupations sans titre et d'une urbanisation spontanée, souvent régularisée après coup (Goiffon, 2003a) ; d'autre

part, l'effritement progressif du cadre foncier rigide imposé par la grande propriété agricole s'est traduit par une urbanisation tardive, peu hiérarchisée (armature urbaine incomplète), et très rapide donc pas toujours parfaitement contrôlée (Jauze et Ninon, 1999).

Dans d'autres contextes (ou à d'autres époques), la forte attractivité du littoral et la rareté de l'offre foncière ont engendré une flambée des prix, à l'origine de nombreuses dérives – spéculation (Cuadrado-Ciuraneta *et al.*, 2016) ; clientélisme et électoralisme foncier (Kuété et Assongmo, 2002) consistant à créer et redistribuer, à travers la constructibilité des terrains, des plus-values foncières aux électeurs locaux ; opportunisme foncier asservissant les documents d'urbanisme aux projets des grands promoteurs (Huete et Tros-de-Ilarduya, 2013) ; rentabilisation fiscale à l'origine de situations financières municipales difficiles – qui toutes ont largement favorisé l'urbanisation sous des formes plus ou moins planifiées (Arthaud, 2003 ; Burak *et al.*, 2004 ; Daligaux, 2003 ; Goiffon, 2003b).

Mais les impacts croissants de l'artificialisation sur les sociétés, les milieux et les paysages littoraux, ainsi que la réaction pro-environnementale des années 1970-80, vont déterminer la mise en place progressive de la législation.

La réglementation se met en place...

Des législations spécifiques au littoral ont ainsi été adoptées dans la plupart des pays développés (Gonzalo Malvarez *et al.*, 2000 ; Hopley, 1988 ; Norton, 2005 ; Zoppi et Lai, 2014), mais aussi dans les pays émergents de certaines façades littorales particulièrement convoitées, telles que les rives de la Méditerranée (Benoit et Comeau, 2005 ; Khelil *et al.*, 2019). Ces législations reposent sur la mise en œuvre de principes similaires, qui comprennent la délimitation de zones *non aedificandi*, la construction perpendiculairement au littoral (dite « en profondeur »), la protection de corridors verts notamment par la définition d'espaces remarquables (Gibson, 1999 ; Prieur, 2005).

En parallèle, des dispositifs de protection sont appliqués à certains sites considérés comme remarquables des points de vue écologique, culturel ou paysager. Ils émanent d'institutions internationales (Unesco), nationales (États), voire locales (départements) et sont plus ou moins contraignants : de la protection stricte, à la simple labellisation (comme dans les réserves de biosphère). Bien que ces dispositifs ne soient pas propres aux littoraux, ils y sont particulièrement présents en raison de l'exacerbation des enjeux et de la valeur patrimoniale qui leur est attribuée (EEA, 2006a). Ils sont renforcés par des outils spécifiquement littoraux, consacrés à leur protection foncière (*National Trust* britannique, Conservatoire du littoral), ou à celle des aires marines comme les parcs naturels marins qui ont également compétence sur leurs rivages. En France, le Conservatoire du littoral ambitionne ainsi de soustraire un « Tiers sauvage » du littoral aux dynamiques d'urbanisation auxquelles il est soumis (Fottorino et Soares, 2005).

... Mais elle n'est pas toujours efficace

Si ces dispositifs ont le mérite d'exister, ils présentent une efficacité variable, depuis la simple déclaration d'intention (Nakhli, 2010), jusqu'à une réglementation de plus en plus stricte, comme en Espagne (Gonzalo Malvarez *et al.*, 2000). Le constat général reste toutefois celui de

leur impuissance à maîtriser l'urbanisation et l'artificialisation des littoraux (Norton, 2005 ; Prévost et Robert, 2016 ; Sohl et Sohl, 2012), même si la combinaison des dispositifs législatifs et urbanistiques semble récemment porter quelques fruits (DIACT, 2007 ; Le Berre *et al.*, 2017).

Dans les pays développés, la réglementation s'est mise en place surtout à partir des années 1970, en lien avec l'émergence des préoccupations environnementales et le constat de la dégradation accrue de l'environnement, notamment littoral. Mais cette mise en œuvre progressive et récente est souvent intervenue trop tardivement au regard des dynamiques rapides et largement spontanées de l'artificialisation du littoral (Abrantes *et al.*, 2016 ; Gonzalo Malvarez *et al.*, 2000 ; Robin et Verger, 1996), quand leur application différée ou retardée n'est pas liée à des défaillances politiques et institutionnelles (Burak *et al.*, 2004). Une fois les dispositifs mis en place cependant, ils montrent une certaine inertie, leurs zonages étant rarement remis en cause, quelle que soit l'évolution des contextes socio-économiques ayant présidé à leur mise en place (Paül et Tonts, 2005).

Par ailleurs, dans bien des cas, les outils restent plutôt au service de la promotion du développement économique, que de la protection de l'environnement (Abrantes *et al.*, 2016). De fait, la planification urbaine est parfois accusée de suivre après coup les tendances spontanées et de distribuer les droits à construire en adaptant les zonages et la réglementation au lieu de constituer un véritable outil d'aménagement (Desse et Meur, 1994 ; Goiffon, 2003b). Ainsi, les projets de développement portés par les élus et les acteurs locaux se heurtent-ils souvent aux directives des services gouvernementaux, voire supranationaux, davantage au service de la protection du littoral (Gurran *et al.*, 2007). Par exemple, ouvrir de nouveaux secteurs à l'urbanisation permet d'étendre les bases fiscales des communes (Grandclement et Boulay, 2015), alors que les réglementations visent au contraire à contrôler cette expansion urbaine.

De plus, dans de nombreux cas, se superposent de multiples textes et décrets, anciens ou récents (Bernardie-Tahir et El-Mahaboubi, 2001), générant un imbroglio de la réglementation à l'origine de toutes sortes de blocages (Burak *et al.*, 2004). En France, elle se traduit par la superposition de périmètres de gestion spécifiques, aux réglementations plus ou moins compatibles (fig. 1.5) : sites classés, PN, PNR, ONF, DPM, CELRL (Merckelbagh, 2009 ; Meur-Ferec, 2007). Par exemple, les DOM sont soumis aux mêmes décrets et lois que la métropole (loi Littoral, loi Paysage...), mais la difficulté réside dans l'application de ces textes généraux aux particularismes locaux, sociaux et environnementaux. C'est le cas à Mayotte (Bernardie-Tahir et El-Mahaboubi, 2001), où coexistent dans la législation foncière droit coutumier, musulman et commun aux logiques en partie contradictoires.

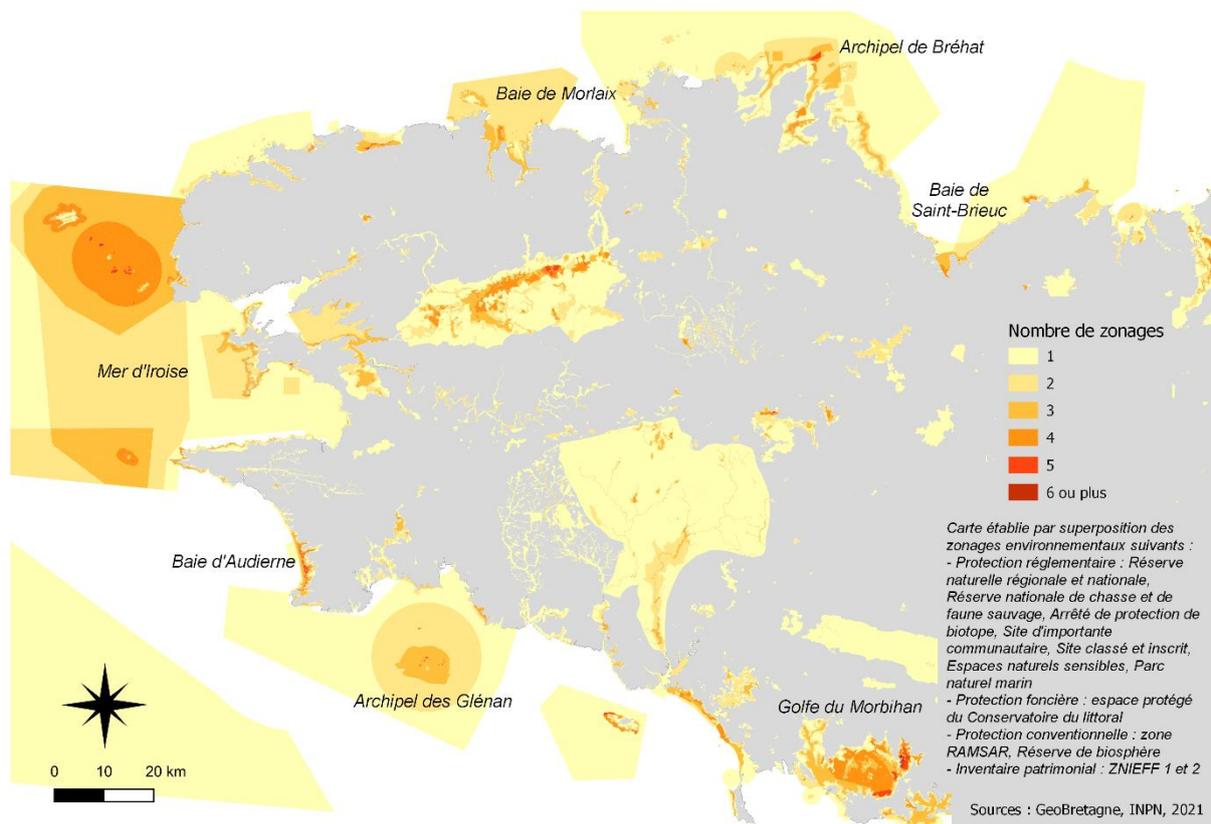


Figure 1.5 : La superposition des dispositifs de protection de l'environnement en Bretagne

Facteur aggravant, la multiplicité des intervenants, ainsi que la faiblesse des structures de coordination (Baron, 2017 ; Bodiguel, 1997 ; Burak *et al.*, 2004 ; Nakhli, 2010), voilent les responsabilités, rendent les règles confuses et par conséquent mal appliquées (Bernardie-Tahir et El-Mahaboubi, 2001 ; Jauze, 2013). La gestion intégrée des zones côtières (GIZC) a justement vocation à rompre avec les logiques territoriales, sectorielles et institutionnelles dans une perspective de développement durable des littoraux (Cicin-Sain et Knecht, 1998 ; Vallega, 1999). En s'appuyant sur un processus volontariste de collaboration interdisciplinaire et interinstitutionnelle, de concertation et de participation, elle vise à promouvoir le décloisonnement des actions publiques, privées et associatives, et à articuler entre eux les objectifs sociaux, environnementaux et économiques en jeu sur le littoral (Baron, 2017 ; Meur-Ferec, 2007). Mais l'articulation entre ces objectifs et les usages, les intérêts et les valeurs associés au littoral, semble particulièrement difficile à trouver. Les effets de la GIZC – plus important changement des dernières années (Baron, 2013) ou mirage (Guineberteau *et al.*, 2006) – et plus largement de la réglementation sur l'évolution de l'occupation du littoral apparaissent contrastés, entre protection de l'environnement et développement des territoires, intensification et abandon de l'agriculture, maîtrise de l'urbanisation littorale et report vers l'arrière-pays. Les conséquences environnementales, économiques et sociales sont nombreuses et ne semblent pas s'atténuer (Perrin, 2013b ; Robert, 2019).

1.3. Conséquences : un quart des littoraux est artificialisé

Le diagnostic établi par l'Agence européenne de l'environnement dans son rapport sur l'évolution de l'occupation du littoral européen (EEA, 2006a), indique qu'en 2000 l'artificialisation (ici hors zones agricoles) était 25 % plus importante sur le littoral⁸ que dans l'intérieur et que sa croissance était un tiers plus forte. La France appartenait, avec l'Italie et l'Espagne, aux pays dans lesquels cette dynamique était la plus importante, bien que le taux d'urbanisation de la bande littorale d'un kilomètre s'établisse déjà à plus de 45 %. Ces chiffres spectaculaires sont affinés à l'échelle française par le SDES⁹. Dans la bande côtière de 250 m, en 2006, l'artificialisation (toujours hors zone agricole) concernait en moyenne 23 % des surfaces, avec des écarts variant de 11,7 % en Corse à 41 % en Provence-Alpes-Côte d'Azur. Elle a progressé 2,7 fois plus dans les communes littorales que dans le reste du territoire. Ainsi, quelle que soit l'échelle considérée, le littoral est plus artificialisé que l'intérieur des terres. Mais ces chiffres ne fournissent qu'un cadrage général de l'occupation du sol¹⁰ et ne permettent pas de restituer les modes d'occupation spécifiques du littoral, qu'ils soient naturels comme les marais maritimes ou les milieux dunaires, ou artificialisés comme les zones industrielo portuaires ou les stations touristiques. Ils ne permettent pas non plus de bien restituer les modes extensifs d'occupation du sol, ni les mosaïques complexes telles que produites par l'urbanisation diffuse, notamment celle si répandue des espaces résidentiels. Quelles spécificités présentent les modes d'occupation et l'aménagement du littoral ? Spécifiques ou non, quelles sont les conséquences de l'évolution de l'occupation du sol sur les écosystèmes, les territoires littoraux et leur population ?

1.3.1. Des aménagements spécifiques au littoral, mais pas seulement

L'ingénierie côtière, à proprement parler, date de l'antiquité. Elle s'est notamment forgée dans les anciens ports de Méditerranée (Morhange et Marriner, 2010 ; Provansal *et al.*, 1995), puis à partir du Moyen âge par la poldérisation des rivages de la mer du Nord (Wolff, 1992). Longtemps limitée par les capacités techniques, l'occupation du littoral se développe massivement à partir de la Révolution industrielle en lien avec l'introduction de la machine et de l'énergie thermique. L'homme est ainsi devenu un agent géomorphologique majeur des littoraux (Cooper et Alonso, 2006 ; Hooke, 1994).

L'occupation du littoral se matérialise par différentes catégories d'aménagements, répondant à des usages variés (tab. 1.2).

⁸ Chiffres établis dans une bande côtière de 10 km, à partir du référentiel d'occupation du sol européen CORINE Land Cover, à l'échelle du 1/100 000, avec une unité minimale de cartographie de 25 ha.

⁹ Service des données et études statistiques : <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/trois-quarts-des-rivages-metropolitains-sont-non-artificialises-mais-une-part-importante-est?rubrique=&dossier=224>

¹⁰ Chiffres établis à partir de CORINE Land Cover.

Tableau 1.2 : Types d'artificialisation spécifique au littoral

Usage	Exemples d'ouvrages
Transport maritime, industrie	Ports, quais, cales, terre-pleins, ouvrages de protection portuaire (jetées, môles), prises d'eau
Polders, remblais	Digues, écluses, cordons d'enrochement des polders agricoles, industriels, urbains ou d'infrastructures (aéroports)
Aménagements touristiques	Complexes hôteliers, stations balnéaires, marinas, ports de plaisance, accès au littoral
Urbanisation littorale	Fronts de mer, promenades
Cultures marines	Cales, parcs, tables, filières, cages, prises d'eau
Ouvrages de protection contre la mer	Murs, digues, perrés, cordons d'enrochement, épis, brise-lames

Certaines sont spécifiques au littoral (ports, stations balnéaires) et requièrent la présence de la mer pour leur implantation, tandis que d'autres (urbanisation, industries) y ont simplement trouvé des sites – comme les plaines côtières des littoraux montagneux (Benoit et Comeau, 2005, Goiffon, 2003b ; Potter, 1993) – ou des situations (climatiques, commerciales) avantageux (Gamblin, 1998).

Dans la plupart des cas, ces aménagements sont complétés par des ouvrages de protection contre la mer, de conception publique et généralement planifiée, ou alors privée et souvent illégale. Cette protection prend la forme soit d'une ligne de défense devant, sur, ou en arrière du trait de côte, basée sur des ouvrages en dur (murs, perrés, cordons d'enrochement) ou « doux » (ganivelles, dispositif de rechargement ou de stabilisation de plages), soit de zones tampon naturelles ou en partie aménagées (Paskoff, 2010). En un siècle environ, ces aménagements se sont fortement densifiés tout en se rapprochant du littoral...

1.3.2. Des impacts environnementaux multiscalaires

Bohnet et Moore (2011) distinguent quatre familles d'impacts anthropiques affectant spécifiquement les littoraux (tab. 1.3). Le caractère dynamique et ouvert des littoraux induit la diffusion de ces impacts à plusieurs échelles : locale, proximale et globale (Masselink et Gehrels, 2014).

Impacts structuraux

Les impacts structuraux sont directement liés à l'évolution de l'occupation du sol, à la consommation d'espace et à la dégradation physique des habitats qui en découle, par dépôts de matériaux, stabilisation, remodelage ou émergence. Au cours de l'histoire, la formation des zones humides (marais maritimes, lagunes, mangroves) a pu être favorisée par la mise en culture de leur bassin versant et la déforestation qui l'accompagnait (Syvitski *et al.*, 2009). Tant qu'ils étaient considérés comme insalubres et difficiles à mettre en valeur, ces espaces amphibies sont le plus souvent restés marginaux avec pour principale fonction le rejet de matériaux et de déchets divers, ce qui a abouti à leur remblaiement progressif (Hunter et Arbona, 1995 ; Thornton *et al.*, 1980) et parfois, finalement, à leur aménagement (Hudson, 1996). Mais, dès que les techniques de maîtrise de l'eau se sont peaufinées, leur topographie plane et leurs vastes étendues faiblement occupées ont attiré les aménageurs à la recherche de terres nouvelles (Wagret, 1959 ; Wolff, 1992). En tirant parti de la végétation des marais

maritimes et en domestiquant leurs courants de marée, l'homme est parvenu à y favoriser le piégeage et le dépôt sédimentaire, donc à en accélérer l'accrétion naturelle (Verger, 2005 ; Wagret, 1959). L'ingénierie qui s'est alors développée, notamment sur les rivages de la mer du Nord (Flandre, Hollande), repose sur un endiguement progressif des marais, pour les isoler peu à peu de la zone de balancement des marées, tout en favorisant le processus de sédimentation par des installations diverses, végétales ou fascines. Dans les parties les plus basses, on a aussi recouru au pompage des eaux résiduelles, notamment par des moulins à vent (Wolff, 1992).

Tableau 1.3 : Impacts des activités humaines sur les systèmes littoraux (d'après Bohnet et Moore, 2011)

Type d'altération	Causes	Activités concernées
Hydrodynamique	Altération/modification de la direction et de l'énergie de la houle, du courant	Agriculture, production énergétique (barrages, EMR)
		Industrie, urbanisation, tourisme (défenses transversales et latérales contre la mer)
Structurale (physique)	Modification / artificialisation / destruction d'habitats	Pêche (arts traînants ; pêche à l'explosif)
		Exploitation des ressources minérales (dragages, carrières, forages)
Écologique (organique, chimique, fonctionnelle)	Turbidité, envasement	Agriculture, aquaculture (poldérisation)
	Modification des chaînes trophiques et des écosystèmes	Déforestation, agriculture, travaux
	Introduction d'espèces invasives	Pêche (surpêche), aquaculture
	Pollution	Aquaculture, agriculture, transport maritime, urbanisation
		Aquaculture, agriculture, transport maritime, urbanisation, tourisme (pollution organique et chimique par rejet, dépôt, stockage de déchets, des eaux usées)
Surconsommation d'eau	Production énergétique (pollution thermique) Désalinisation de l'eau de mer (pollution chimique) Agriculture, urbanisation, tourisme	
Socio-économiques	Concurrence, conflits d'usage	Toutes les activités
	Monopole exclusif	Activités incompatibles avec les autres (carrières, industries)
	Ségrégation, exclusion, relégation	Urbanisation résidentielle, tourisme

Sous l'influence des Hollandais, la poldérisation s'est ensuite diffusée à l'échelle mondiale (Hudson, 1996) au profit tout d'abord de l'agriculture, mais également de l'aquaculture et de la saliculture. Mais, à partir du XIXe siècle, l'essentiel des prises s'effectue surtout pour l'urbanisation et le développement économique sur ces terres bon marché qui offraient l'avantage d'éviter des conflits liés à l'empiètement sur des terres agricoles (Paskoff, 2010). De grandes villes comme Amsterdam, Venise, Tokyo ou Djakarta se sont étendues sur d'anciens marais maritimes (Gedan *et al.*, 2009). Du fait de leur statut réglementaire et foncier mal défini, ils sont souvent considérés comme des terrains libres et sont aussi fortement convoités par l'urbanisation spontanée (Goiffon, 2003b ; Weber et Puissant, 2003). Une part importante des bidonvilles et des quartiers d'habitation informels de la planète s'y sont ainsi développés au cours des dernières décennies en marge des villes officielles (Davis, 2004).

Plus récemment, depuis le milieu du XXe siècle, la création de ports en eau profonde et l'aménagement de vastes zones industrielles ou logistiques ont aussi constitué un important

facteur de poldérisation (Hudson, 1996, Verlaque, 1975). De larges superficies de vasières et de marais estuariens, proches des grands centres de consommation ont ainsi été converties en complexes industrialo-portuaires. Par exemple, dans l'estuaire de la Seine, entre 1834 et 1978, les espaces intertidaux sont passés de 130 à 31 km², réduisant le volume de l'estuaire de moitié (Paskoff, 2010). À l'échelle mondiale, on estime que les deux tiers des marais maritimes ont été ainsi aménagés au cours de la période historique (Masselink et Gehrels, 2014).

Impacts écologiques

Outre les destructions directes, les travaux d'aménagements des littoraux produisent souvent une augmentation de l'érosion des sols, les sédiments ainsi remobilisés entraînant une augmentation de la turbidité des eaux fluviales et littorales. Les effets peuvent être drastiques sur les cycles hydrologiques, les habitats et les peuplements benthiques ou halieutiques (Gedan *et al.*, 2009), et peuvent conduire à la modification des chaînes trophiques.

Par exemple à Tahiti, la construction dans des secteurs à fortes pentes se traduit par une importante érosion des sols qui conduit à une sédimentation des lagons et à l'asphyxie des récifs frangeants (Bon, 2005). À Mayotte, l'intensification de l'érosion combinée à un recul rapide de la mangrove figurent parmi les principaux responsables de l'envasement du lagon depuis les années 1980 (Bernardie-Tahir et El-Mahaboubi, 2001). La perte de diversité spécifique, notamment halieutique, qui découle de ce type de processus, peut se traduire par une prolifération algale (Brown et Dunne, 1988). Certains secteurs de la grande barrière australienne ont ainsi été altérés par la construction de ports ou de marinas et le remblaiement de leurs platiers (Hopley, 1988) perturbant voire interrompant les processus hydro-sédimentaires et fragilisant la stabilité du littoral en accentuant localement l'érosion (Guilcher, 1988).

À distance plus grande, l'artificialisation des cours d'eau par la multiplication des barrages et la consommation de l'eau par l'irrigation sont les déterminants principaux de la subsidence de la plupart (70 %) des deltas du monde (Ericson *et al.*, 2006). La charge sédimentaire du Danube a ainsi été réduite de 30 %, celle de l'Ebre de 95 % et celle du Nil de 98 % (Masselink et Gehrels, 2014). Ce dernier n'est d'ailleurs plus considéré comme un delta actif, mais comme une plaine côtière dominée par les agents hydrodynamiques marins (Stanley et Warne, 1993), qui cède du terrain à ses deux embouchures (jusqu'à 114 m/an à celle de Rosette, et 31 m/an à celle de Damiette), surtout depuis l'achèvement du grand barrage d'Assouan en 1964 (Paskoff, 2010).

L'accrétion naturelle de nombreux deltas n'est donc plus assurée par l'apport de sédiments fluviaux et, de plus, la compaction naturelle sous l'effet de la surcharge due aux sédiments accumulés n'y est plus compensée (Syvitski *et al.*, 2009). Ce phénomène est bien souvent aggravé par l'artificialisation des sols, les ouvrages de protection contre la mer et les aménagements aquacoles (Anthony *in* Masselink et Gehrels, 2014), mais aussi par la surexploitation des aquifères pour les besoins de l'agriculture ou de l'industrie, le drainage, ou bien l'extraction d'hydrocarbures comme dans les deltas du Po (Simeoni et Corbau, 2009), ou du Mississippi (Paskoff, 2010). À cause de l'affaissement des plaines deltaïques dont la subsidence naturelle est déjà prononcée, des quartiers entiers de certaines villes côtières se trouvent aujourd'hui à plusieurs mètres au-dessous du niveau de la mer et poursuivent leur

enfouissement. C'est le cas de Bangkok qui s'enfonce à une vitesse moyenne de 4 cm par an, et dont certains quartiers ont perdu plus de 80 cm en un quart de siècle.

Amplifié par l'élévation contemporaine du niveau marin, cet effet de subsidence menace désormais de larges territoires deltaïques exposés à une érosion côtière accrue, à l'incursion récurrente d'eau salée et la salinisation des nappes phréatiques (Syvitski *et al.*, 2009). 22 % des zones humides côtières pourraient ainsi subir les effets de cette élévation du niveau marin d'ici la fin du siècle. Combinées aux impacts anthropiques qui les affectent, les pertes pourraient atteindre 70 % (Ericson *et al.*, 2006) !

1.3.3. Impacts socio-économiques

La concurrence entre les activités génère des conflits d'usages et divers impacts socio-économiques.

Des tensions foncières sur un espace restreint

Le foncier étant structurellement rare sur les littoraux, sa valeur s'accroît en proportion des convoitises dont il est l'objet (Dachary-Bernard *et al.*, 2011). Ainsi, en France métropolitaine, le prix de vente des terrains à bâtir en secteur diffus est en moyenne 60 % plus élevé sur le littoral. Les terrains y sont par ailleurs plus petits (25 % de moins)¹¹, témoignant de l'effet du prix sur la propriété, mais également de structures foncières héritées des spécialisations agricoles particulières au littoral, comme les cultures maraîchères ou primeur (Vincent, 2006). Ce morcellement foncier, associé à la dispersion traditionnelle du bâti dans certaines régions, est d'ailleurs souvent accusé de favoriser le mitage urbain et paysager (EEA, 2006b ; Minvielle, 2006) au détriment de la rentabilité économique des activités agricoles (Larrosa Rocamora, 2003), et de la fonctionnalité écologique des habitats littoraux.

Mais, au contraire des espaces naturels dont la valeur patrimoniale souvent jugée « remarquable » justifie la mise en œuvre de dispositifs de protection relativement efficaces, les terres agricoles sont considérées comme des milieux et des paysages « ordinaires » (Minvielle, 2006). C'est plutôt une valeur de réserves foncières qui leur est attribuée, notamment par leurs propriétaires (souvent agriculteurs) qui en attendent une plus-value liée à la construction immobilière (Daligaux, 2003). C'est donc sur ces terres agricoles que l'expansion urbaine et l'aménagement des infrastructures s'envisagent de prime abord (Larrosa Rocamora, 2003). Même si la consommation de terres agricoles n'est pas spécifique au littoral, elle y est particulièrement forte, comme le montre l'exemple européen où 3 230 km² de cultures et de pâtures ont été consommés dans la bande côtière (10 km) entre 1990 et 2000, surtout (61 %) par l'urbanisation résidentielle, touristique et de services (EEA, 2006a). En France, la tendance est similaire puisque les exploitations des communes littorales ont perdu

¹¹ ONML, 2019 : <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/milieux-et-territoires-a-enjeux/mer-et-littoral/economie-et-demographie/article/prix-des-terrains-a-batir-sur-le-littoral-metropolitain-en-2016-et-evolution>

25 % de leur surface agricole utile (SAU) entre 1970 et 2010, contre 12 % dans l'arrière-pays et 10 % en moyenne métropolitaine¹².

Les zonages établis pour la planification urbaine ou la protection de l'environnement participent en outre à l'augmentation des valeurs foncières, car, en restreignant l'offre, ils accroissent l'effet de rareté et, en protégeant certains espaces naturels, ils en accroissent les aménités, notamment paysagères, qui sont alors intégrées dans le prix (Dachary-Bernard *et al.*, 2011). L'effet des réglementations est tout aussi ambivalent. La loi de défiscalisation immobilière (loi Pons, 1986) appliquée dans les DOM s'est par exemple traduite sur les marchés fonciers par un double phénomène de morcellement et de reventes spéculatives, qui a affecté les espaces agricoles et naturels (Goiffon, 2003a). Cette évolution peut être renforcée lorsqu'une certaine désaffection de l'agriculture libère de grands espaces, alors convoités par l'urbanisation (Goiffon, 2003b).

Relégation économique ou sociale

La population permanente peut pâtir de cette tension foncière à travers l'appropriation du littoral par les catégories sociales les plus aisées et la hausse des prix qui en découle qui, selon les contextes nationaux ou locaux, peut dériver vers une spéculation foncière, comme sur certains littoraux africains par exemple (Gössling, 2001 ; Kuété et Assongmo, 2002). Les populations aux revenus les plus modestes, notamment les jeunes, n'ont alors souvent pas d'autre choix résidentiel que de se replier vers l'arrière-pays, où le foncier et l'immobilier sont plus accessibles (Buhot, 2009 ; Le Délézir, 2008 ; Vye, 2011). Par exemple en France, les acquéreurs de terrain en bord de mer sont à la fois plus aisés (surreprésentation des catégories socioprofessionnelles supérieures) et plus âgés : les retraités représentent 11 % de ceux-ci, soit le double de la moyenne métropolitaine (fig. 1.6)¹³.

Cette situation est exacerbée sur les littoraux où des touristes aux revenus élevés investissent massivement dans l'immobilier, sans que la population résidente ne puisse rivaliser (Larrosa Rocamora, 2003). Les effets sont alors à la fois démographiques (vieillesse et variation saisonnière de la population), économiques (hausse des valeurs foncières et spéculation) et sociaux : appropriation et privatisation du littoral par les catégories les plus aisées, relégation des autres (Bon, 2005 ; Boon, 2001 ; Gonzalo Malvarez *et al.*, 2000 ; Kuété et Assongmo, 2002). Cette relégation augmente de fait la pression exercée sur l'arrière-pays. Par ailleurs, les surcoûts de fonctionnement engendrés par le suréquipement des stations touristiques, souvent calibré par rapport aux pics de fréquentation estivaux, se ressentent sur la fiscalité locale et peuvent aggraver encore le déclin démographique (Larrosa Rocamora, 2003).

¹² ONML, 2014 : <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/milieus-et-territoires-a-enjeux/mer-et-littoral/vue-d-ensemble/article/typologie-des-cultures-des-exploitations-agricoles-en-2010>

¹³ <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/milieus-et-territoires-a-enjeux/mer-et-littoral/economie-et-demographie/article/prix-des-terrains-a-batir-sur-le-littoral-metropolitain-en-2016-et-evolution>

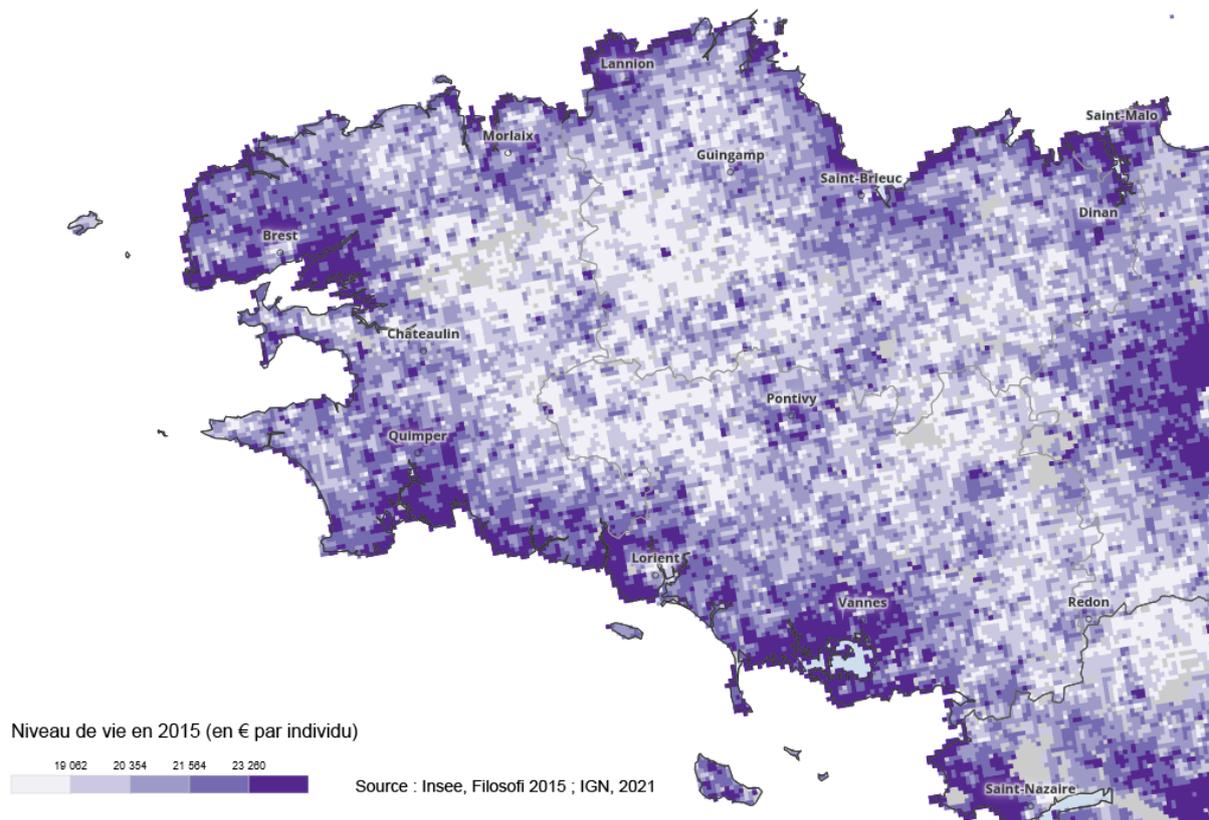


Figure 1.6 : Le niveau de vie en Bretagne en 2015. L'attractivité du littoral est nettement perceptible.¹⁴

Dans les situations extrêmes, des formes de précarisation des communautés littorales peuvent aussi résulter directement de l'appropriation ou de l'altération des milieux naturels, de leurs lieux de vie et des ressources dont elles tirent parti pour leur subsistance. De telles situations sont décrites après l'aménagement urbain ou industrialo-portuaire, mais également à la fermeture de l'accès à certains espaces naturels protégés et à leurs ressources, y compris paysagères et récréatives (Elkind, 2006 ; Pébayle, 1983). L'accroissement des dommages écologiques et les changements d'occupation du sol qui en découlent transforment alors la vulnérabilité sociale en vulnérabilité écologique (Boyce, 1994 ; Deboudt, 2010). Enfin, l'exposition aux désagréments et aux risques engendrés par la dégradation des systèmes littoraux suite à des changements d'occupation du sol peut affecter de manière différenciée les populations selon leur capacité à mobiliser à leur profit les dispositifs de protection (Portman, 2012), à se réinstaller dans des sites moins exposés (Scoppetta, 2016) ou au contraire à devoir rester sur place et subir des inconvénients de gravité variable (Attardi *et al.*, 2012 ; Claeys *et al.*, 2017), tels que la banalisation paysagère, l'accès à la ressource en eau, ou les risques côtiers.

Un espace contraint : des rétroactions écologiques et paysagères

Dans bien des régions littorales (notamment méditerranéennes et insulaires), l'accroissement de la population urbaine et touristique se traduit par une augmentation de la consommation d'eau qui entre en concurrence avec les besoins agricoles (irrigation) et industriels, et dépasse

¹⁴ Interface de cartographie dynamique de l'INSEE, <https://statistiques-locales.insee.fr>

la capacité de renouvellement de la ressource notamment en période estivale (Garcia et Servera, 2003 ; Gössling, 2001). Localement, le problème peut être accentué par l'absence de maîtrise globale de la ressource due à l'aménagement illégal de multiples captages privés (Burak *et al.*, 2004). La surconsommation qui en découle peut se traduire par un abaissement du niveau des aquifères côtiers qui se trouvent exposés à des intrusions d'eau salée (Burak *et al.*, 2004), donc à une détérioration de leur qualité (Garcia et Servera, 2003). Qualité qui peut en outre pâtir de la mauvaise gestion – quand bien même elle existe – des effluents, qu'ils soient urbains, industriels ou agricoles, aggravant encore les conflits d'usage avec les activités qui requièrent une eau douce ou marine de bonne qualité bactériologique, comme l'aquaculture ou le tourisme balnéaires (Gössling, 2001).

L'artificialisation peut aussi produire une dégradation paysagère des littoraux. Elle est particulièrement radicale dans les sites industrialo-portuaires qui effacent littéralement les paysages naturels et socioculturels antérieurs (Pébayle, 1983). Mais l'urbanisation y contribue également, que ce soit par la banalisation paysagère induite par la reproduction indistincte des formes urbaines et architecturales, quels que soient les littoraux concernés, leur ôtant ainsi une part de leur valeur culturelle et identitaire ; ou bien par la confusion paysagère engendrée par le mitage et la fragmentation des espaces, lorsque l'urbanisation est mal encadrée (Burak *et al.*, 2004 ; Goiffon, 2003a ; Larrosa Rocamora, 2003). Dans les stations touristiques, ces altérations, auxquelles s'ajoute souvent le démaigrissement ou la perte de la plage, lui ôtent du même coup une bonne part de la valeur esthétique et récréative qui fondait pourtant à l'origine leur fréquentation (Dupras *et al.*, 2016 ; Paskoff, 2010 ; Smith, 1995).



Figure 1.7 : Où est-ce ? Multiplication des pavillons « néo-bretons », forme d'urbanisation indistincte et banalisation paysagère sur le littoral à Plouarzel, dans le nord-Finistère (2009)

1.3.4. Risques découlant de l'occupation de milieux dynamiques...

L'évolution du littoral s'inscrit dans un système hydrosédimentaire ouvert et dynamique malheureusement « trop souvent ignoré par les aménageurs » (Lageat, 2004), à l'origine d'une bonne part des enjeux contemporains d'exposition aux risques côtiers (Paskoff, 2010 ; Hénaff et al., 2018).

Les aménagements imprudemment implantés trop près du rivage se trouvent ainsi exposés à ses dynamiques naturelles (Aubanel *et al.*, 1999 ; Paskoff, 2010), ainsi qu'à des événements extrêmes, qu'ils soient météorologiques (ouragans Katrina en 2005 ; Haiyan en 2013 ; Harvey et Irma en 2017) ou sismiques (Banda Aceh en 2004, Tōhoku en 2011). Ils démontrent l'absence de prise en compte des risques dans les aménagements littoraux, notamment urbains, si ce n'est par la construction de dispositifs de défense contre la mer dont l'efficacité est souvent discutée (Lageat, 2004 ; Rogers, 2008 ; Vinet *et al.*, 2012). Devant la répétition de ces catastrophes, certains territoires réagissent néanmoins en adaptant leur mode d'urbanisation par des procédures de planification plus rigoureuses visant à intégrer les risques (Tumini *et al.*, 2017), ce qui ne va pas sans difficulté (Meur-Ferec et Rabuteau, 2014). Lorsqu'aucune planification n'est mise en œuvre, les catégories de population qui en ont les moyens entreprennent de se reloger dans des sites moins exposés aux risques, plus éloignés de la mer ou d'altitude plus élevée, enclenchant ainsi des dynamiques foncières nouvelles qui tendent à renforcer l'étalement urbain (McKenzie et Levendis, 2010), mais également les inégalités sociales (Scoppetta, 2016). En effet, lorsque la population ne dispose pas des moyens appropriés pour s'adapter et que les autorités sont inopérantes, la reconstruction s'effectue sur les lieux mêmes des catastrophes, sans adaptation notable comme dans le cas des territoires philippins affectés par le typhon Haiyan en 2013 (Ong *et al.*, 2016). De fait, ces catastrophes ne sont pas "naturelles", mais résultent bien d'une exposition d'enjeux humains et matériels à des aléas (tsunami, surcotes marines) à cause d'un aménagement inconsidéré du littoral (Hénaff *et al.*, 2013).

Facteur aggravant, le littoral est particulièrement concerné par les effets du changement climatique en cours. En effet, son corollaire, l'élévation du niveau marin (Nicholls, 2011 ; Paskoff, 2001), se traduit presque mécaniquement par un accroissement de l'exposition des enjeux (infrastructures et équipements divers, bâtiments) aux aléas météo-marins (tempêtes, houles) ou sismiques (tsunamis), donc à une augmentation des risques côtiers (Cooper et Alonso, 2006). Dans leur scénario le plus pessimiste, Neumann *et al.* (2015) estiment ainsi que la population exposée aux risques côtiers dans les zones basses littorales (rapportée à la zone submersible centennale d'altitude inférieure à 10 m) pourrait passer de 189 millions en 2000, à 411 millions d'ici 2060. Dans ce contexte, se mettent alors en place des dispositifs de gestion des risques qui viennent alourdir encore la réglementation existante.

De plus, la fixation du trait de côte par l'artificialisation et l'altération de la stabilité dynamique du système hydrosédimentaire détermine un processus de « contraction » du littoral (*coastal squeeze*) décrit par Doody (2004). Sur les littoraux meubles, elle favorise le démaigrissement des plages (fig. 1.7), tandis que la dune, qui ne peut plus reculer, disparaît (Paskoff, 2010 ; Smith, 1995). Dans les zones humides poldérisées, vasières et herbiers sous-marins tendent à

régresser au profit d'herbus en contact direct avec les milieux infratidaux, compromettant alors le maintien de l'intégrité de la succession d'habitats intertidaux. Localement, le rythme de consommation peut être tel (de 20 à 30 ha/an sur la côte Cantabrique par exemple), qu'il laisse craindre la disparition à court terme des estrans et des marais maritimes (Meur-Ferec et Morel, 2004 ; Rivas et Cendrero, 1991).

Ces tendances sont d'autant plus préoccupantes que la plupart des formations littorales sont le fruit d'évolutions à long terme. Par exemple, l'origine des systèmes dunaires côtiers actuels remonte à la dernière glaciation (dite du Würm, il y a environ 12 000 ans), au cours de laquelle le niveau bien plus bas de la mer (-200 m) offrait aux vents périglaciaires de vastes surfaces de déflation éoliennes (Pinot, 1998). La remontée progressive du niveau marin au cours de la dernière transgression (flandrienne) a formé des accumulations littorales dont la source sédimentaire principale a cependant été recouverte par la mer. Il s'agit donc désormais de formes héritées, non renouvelables, dont l'altération est irrémédiable (Paskoff, 1992). Les littoraux abritant des milieux qui, par essence, ne trouvent d'équivalent nulle part ailleurs qu'à l'interface terre-mer, les pertes de productivité biologique, d'espaces récréatifs et de valeur paysagère sont donc irremplaçables (Dauvin, 1997).



Figure 1.8 : Démaigrissement de plage à Angoulins (Charente-Maritime, février 2009). La première génération d'ouvrages (murs et perrés), en voie de déchaussement, a été renforcée par un enrochement. Les différences de teintes témoignent des variations saisonnières du niveau de la plage ; la nappe phréatique affleure au premier plan

1.4. L'occupation et l'usage du littoral comme objet de recherche

Les changements d'occupation et d'usage du sol ne sont certes pas spécifiques au littoral. Mais ils s'y trouvent exacerbés dans cet espace à la fois ouvert et contraint, attractif et fragile.

L'afflux de population y génère une augmentation de la demande en logements, en équipements et en services qui accentue la pression environnementale et la concurrence spatiale sur le littoral. Cette littoralisation se traduit notamment par une pression foncière, à l'origine de phénomènes de ségrégation sociospatiale pouvant être localement intenses (Bermond et Marie, 2016 ; Buhot *et al.*, 2009).

Mais l'attractivité du littoral, de même que ses conséquences, sont spatialement différenciées, en fonction de ses caractéristiques, notamment géographiques – milieux, climat, situation – et bien sûr des activités qui cherchent à s'y implanter ainsi que des stratégies d'appropriation des usagers et des relations qui s'instaurent entre eux. L'urbanisation, notamment résidentielle, bien que fortement consommatrice de ressources foncières, ne s'est pas exercée avec la même intensité et ne présente pas les mêmes niveaux de développement sur tous les littoraux (Chamseddine et Dupont, 2013 ; Moriconi-Ebrard, 2008 ; Zaninetti, 2006). Il en va de même des activités portuaires et industrielles, qui se concentrent dans quelques espaces urbanisés fortement arrimés aux flux économiques et à leur arrière-pays, et dont l'influence se marque notamment par une forte consommation d'espace, pour la constitution de leur domaine foncier, le plus souvent au détriment des zones humides qui les avoisinent (Hudson, 1996 ; Prelorenzo et Rodrigues-Malta, 2011). Le développement du tourisme et de la villégiature dépend quant à lui étroitement des aménités environnementales, notamment celles procurées par les paysages et les espaces naturels protégés, particulièrement présents sur les littoraux (Bohnet et Moore, 2011 ; Gurran, 2008 ; Robert, 2009).

Cernées à la fois par l'urbanisation et par une certaine sanctuarisation des espaces naturels, l'agriculture ainsi que les activités « traditionnelles » du littoral (pêche et aquaculture notamment), parviennent toutefois à résister sur certains littoraux où elles restent compétitives et fortement structurées : zone légumière de Bretagne, petites exploitations horticoles de la Côte d'Azur par exemple (Merckelbagh, 2009). Mais elles pâtiennent tout particulièrement des procédures de planification spatiale inexistantes, mal ou trop tardivement appliquées : leur espace se réduit, il est fragmenté et sa fonctionnalité s'amenuise (Burak *et al.*, 2004 ; Minvielle, 2006 ; Voiron-Canicio et Lizard, 2008) (fig. 1.8). Cette concurrence spatiale peut également se manifester par des fractures sociospatiales entre populations exogènes très mobiles, attirées par les aménités du littoral, et capables d'investir massivement pour se les approprier, et des populations locales, plus captives de leur territoire et de ses fonctions (emplois, services), dont les revenus relativement faibles ne permettent pas de rivaliser avec ces nouveaux investisseurs. Des phénomènes de relégation vers l'arrière-pays s'observent alors, surtout dans les espaces littoraux périurbains et touristiques (Buhot, 2009 ; Jauze, 2013 ; Paül et Tonts, 2005). L'ensemble se situe dans d'inextricables enjeux globaux, qu'ils soient démographiques (croissance et littoralisation de la population), économiques (maritimisation de l'économie et besoins en infrastructures) ou environnementaux (changement climatique, élévation du

niveau marin entre autres) et de leurs implications locales (Euzen *et al.*, 2017 ; Masselink et Gehrels, 2014).

De fait, l'occupation du littoral constitue un vaste champ d'investigation pour la géographie contemporaine (Buhot *et al.*, 2009 ; Robert et Melin, 2016 ; Walsh *et al.*, 2020). Elle s'inscrit en effet à la frontière entre la description et la compréhension du fonctionnement des milieux, celle des activités humaines et de leurs implications non seulement environnementales, mais également sociales et culturelles, à différentes échelles spatiales et temporelles, du local au global, du court au long terme. Elle mobilise une part significative du bagage conceptuel et méthodologique de la géographie, qu'elle soit biophysique (celui de la géomorphologie littorale notamment) ou humaine (en lien avec la diversité des occupations et des usages d'obédience urbaine, rurale, économique, patrimoniale) (fig. 1.9). Surtout, les enjeux liés à l'occupation et à l'usage du littoral imposent une analyse fondamentalement intégratrice, débordant ces spécialités ainsi que les domaines disciplinaires, que ce soit par exemple au regard de la vulnérabilité des territoires littoraux aux risques côtiers, ou bien du défi que représentent leur gestion et leur gouvernance.



Figure 1.9 : Dans le Haut-Léon, ici à Santec, l'agriculture résiste encore et toujours à l'envahissement urbain, mais son espace s'amenuise et se fractionne (source : LETG-Nautisme en Finistère, juillet 2006)

Outre la description des changements d'occupation et d'usage du sol, se posent de nombreuses questions concernant à la fois leurs facteurs déterminants et leurs effets, qu'ils soient

démographiques (littoralisation), sociétaux (évolution des modes de vie) ou réglementaires (gouvernance et rapports de pouvoirs).

Les problématiques liées à l'occupation du littoral ont été identifiées depuis longtemps (voir par exemple Lebahy et Le Délézir, 2006 ; Paskoff, 1992 ; Pinot, 1998), qu'elles leur soient spécifiques ou non. Mais leur analyse spatiale et quantitative est relativement récente, liée notamment au développement des outils et des méthodes de la géomatique (télédétection, SIG, modélisation) ainsi qu'à la diversification de l'offre et de la disponibilité de l'information géographique numérique à grande échelle et à haute résolution temporelle. L'exploitation de ces données apporte de nouveaux éclairages sur l'occupation et l'usage du littoral, les processus en jeu, leur intensité et les évolutions qu'ils déterminent.

Sans prétendre embrasser l'ensemble très vaste de ce champ scientifique, la partie suivante se focalise sur une présentation du cadre conceptuel et méthodologique de la recherche présentée dans ce mémoire, ainsi que de son positionnement scientifique dans la géographie du littoral.

2. Positionnement scientifique

Ce chapitre vise à introduire le contexte scientifique des travaux de recherche présentés dans ce mémoire. Il s'organise en quatre sections. En premier lieu, il s'attache à présenter le cadre conceptuel dans lequel s'inscrivent ces recherches qui, par son terrain, provient de la géographie du littoral et, par ses thématiques et ses méthodes, du domaine scientifique interdisciplinaire qui s'intéresse aux changements d'occupation et d'usage du sol (*Land change sciences*, LCS). Une présentation générale des méthodes employées dans ce domaine est proposée dans un second temps. Un état ciblé, donc forcément partiel, des avancées récentes de la géographie sur la thématique des changements d'occupation du littoral français est ensuite proposé. Il permet de dégager les questionnements scientifiques à la base de mes propres travaux, ainsi que les axes de recherche que j'ai privilégiés et qui sont finalement présentés.

2.1. Cadre conceptuel

2.1.1. De la géographie littorale aux Land change sciences

Les recherches présentées dans ce mémoire portent sur l'espace littoral. Par sa situation à l'interface entre terre et mer, le littoral constitue un « fait de nature », dont il tire ses spécificités (Corlay, 1995). Espace à la fois de rupture, du fait de la discontinuité physique engendrée par le passage du domaine terrestre au domaine marin, et de contact par les nombreux échanges qui s'établissent entre ces deux domaines, le littoral possède des caractéristiques particulières, qu'elles soient morphologiques, économiques, sociologiques, juridiques ou paysagères. C'est par conséquent un espace très original à l'échelle de la planète, ainsi qu'un système qui repose sur des interrelations complexes entre nature et société. C'est ce qui fonde l'intérêt que lui porte la géographie en tant que science sociale étudiant les rapports des sociétés humaines à leur espace.

Cet intérêt s'est notamment manifesté dans la longue tradition de la géographie physique, et notamment de la géomorphologie littorale, basée sur des approches naturalistes et faisant la part belle aux observations et aux mesures de terrain (Guilcher, 1954). Pour autant, l'homme n'a jamais été totalement élué de ces recherches, que ce soit en tant qu'agent de transformation des espaces littoraux et de leurs dynamiques, en tant que victime subissant les effets de leur évolution et de ses aléas (Paskoff, 1992 ; Pinot, 1993 ; Pirazzoli, 1993) ou encore en tant qu'acteur de leur gestion et de leur évolution (Carter, 1988 ; Pinot, 1998). Soucieuse d'intégrer processus morfo-sédimentaires et aspirations de la société, la géomorphologie littorale va en effet s'orienter vers une recherche plus appliquée à la gestion vers la fin des années 1970 (Lageat, 2004). Au-delà de l'observation de la nature, elle aspire désormais à en analyser les processus et les moyens d'intervention pour contribuer « à maintenir ou restaurer un équilibre jugé optimal ». Les dynamiques particulières qui découlent des interrelations entre sociétés humaines et espace littoral ont également constitué un domaine d'investigation fécond en géographie humaine. Après l'analyse des spécificités des peuplements et des activités du littoral, notamment au regard de l'exploitation de ses ressources (Doumenge, 1965 ; Nonn, 1972), les effets des politiques d'aménagement du territoire et des évolutions

sociétales des Trente glorieuse apparaissent dans les thématiques en lien avec l'occupation du littoral : urbanisation, tourisme, destruction des espaces naturels, protection de l'environnement (Bonneau, 1972 ; Feger *et al.*, 1975 ; Guilcher et Moign, 1977 ; Renard, 1984).

Dans ces approches à velleité globalisante (ou holistique), le littoral est considéré comme un système complexe. De fait, il en possède les caractéristiques : ouvert, structuré par des composantes en interrelations, et non linéaire, car modifié en permanence par des boucles de rétroactions qui déterminent des points d'équilibre dynamique (Forrester, 1979). Dans la géographie au sens large, l'analyse de tels systèmes est réalisée par deux approches, paysagère et cartographique. L'approche paysagère est d'abord entreprise dans les écoles soviétique et allemande (*Landschaftsökologie*) et fondée sur des mesures scientifiques, quantitatives et biogéochimiques des géosystèmes (Rougerie et Beroutchachvili, 1991). Mais la complexité de ces systèmes, les difficultés que soulèvent leur analyse, aboutissent à une vision essentiellement objective, réduite à ses seules composantes biophysiques, donc « déshumanisées », qui conduit les géographes à rechercher des révélateurs intégrant également la dimension sociale (Clary, 1987). En France, où la tradition de l'analyse paysagère, essentiellement descriptive, n'est plus en vogue, sa réhabilitation est effectuée par Georges Bertrand (1978). S'inspirant des géosystèmes, il décèle dans le paysage, au-delà d'une structure et d'un système, un processus de transformations spatiotemporel, dont la recherche des états permet de suivre et de prévoir l'évolution. Aux dimensions écologiques et sociales du paysage, s'ajoute également la dimension perçue, subjective et sensible, fondant la notion de complexe paysager (Brossard et Wieber, 1980). Les approches analytiques se fondent sur une lecture dialectique du paysage vu du dedans (lecture horizontale) et vu du dessus (lecture verticale) permettant d'en décrire les sous-systèmes (producteur, visible, utilisateur).

L'approche cartographique (donc verticale) repose largement, quant à elle, sur l'utilisation de la télédétection aérienne et satellitaire. Dès l'après-guerre, le courant anglo-saxon des *landscape survey* développe des méthodes d'inventaire des ressources naturelles à partir d'analyses physionomiques multiscalaires par photo-interprétation (Tricart et Kilian, 1979). Elles donnent lieu à la planification écologique qui a pour projet d'intégrer, outre la valeur économique, le coût social et environnemental de l'exploitation des ressources naturelles et de l'aménagement du territoire (Mc Harg, 1967 ; Tarlet, 1985). Une application au littoral méditerranéen (Aubagne-Toulon) en a été effectuée pour évaluer l'effet des aménagements et des activités littorales sur l'environnement (Augier *et al.*, 1979). S'inspirant de ces méthodes, Tricart et Kilian (1979) développent leur approche d'*éco-géographie* qui ambitionne d'étudier comment l'homme peut s'intégrer dans les écosystèmes, les aménager et en exploiter les ressources, tout en les préservant. L'éco-géographie s'appuie également sur un diagnostic cartographique établi à partir de photographies aériennes. Plusieurs cartes peuvent être dressées : carte morphopédologique en premier lieu, dont dérive une cartographie des contraintes (limitations agronomiques), puis occupation du sol ; enfin, par confrontation de cette dernière avec les contraintes, proposition d'affectation du sol. L'approche proposée par Tricart et Kilian (1979), dont une application littorale a été effectuée aux Comores, repose également sur une approche systémique conciliant vision d'ensemble, dialectique terrain-laboratoire, connaissance des

interactions entre composants, adaptation des échelles de travail au terrain et à la finalité poursuivie (souvent agronomique dans les cas présentés par les auteurs).

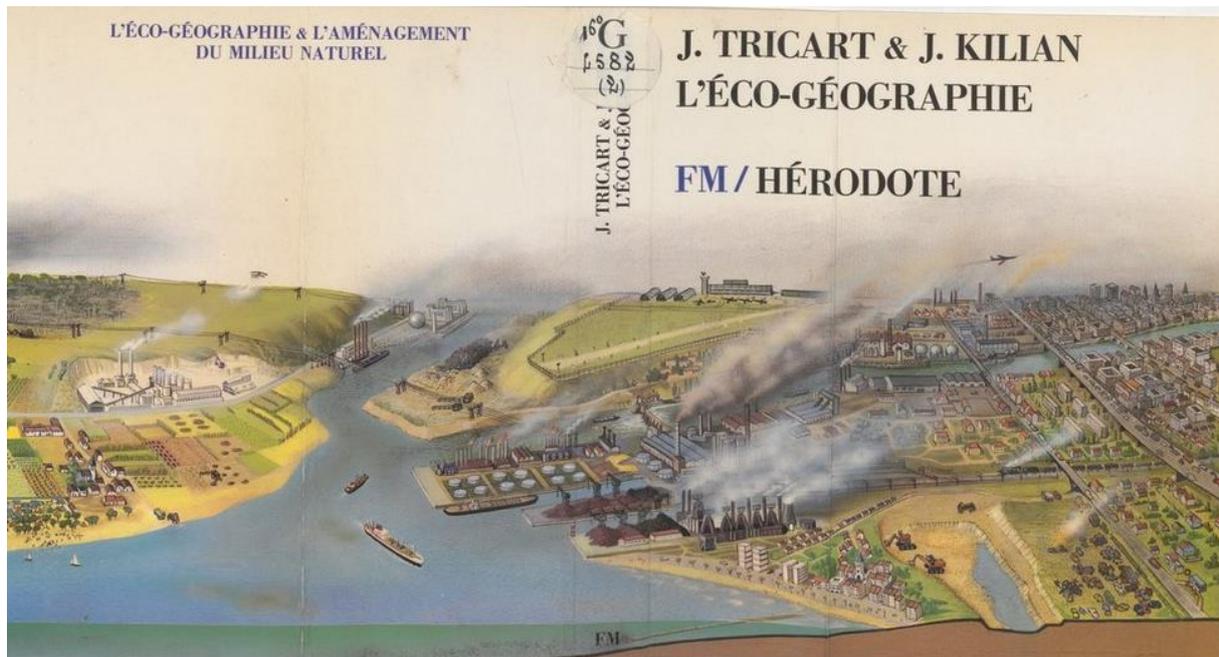


Figure 2.1 : La couverture de *L'éco-géographie* prend exemple sur un littoral estuarien pour présenter les phénomènes de pollution en pays développé (Tricart et Kilian, 1979)¹⁵

Par leurs apports conceptuels et méthodologiques, ces travaux inscrivent résolument la géographie dans le cadre, bien plus vaste, des *Land change sciences*. Ce domaine scientifique fondamentalement interdisciplinaire a conduit depuis plusieurs décennies à décrire les facteurs et les processus à l'origine de changements d'occupation et d'usage du sol et à en améliorer la compréhension. Les LCS distinguent deux compartiments, biophysique et social, qui interagissent pour déterminer les modes d'occupation et d'usage du sol, notions complémentaires, mais qui ne recouvrent pas les mêmes facteurs et processus de changements. Ces facteurs variés, naturels ou anthropiques, endogènes ou exogènes, s'établissent et interagissent à différentes échelles du local au global.

2.1.2. Les sciences des changements d'occupation du sol

Les dynamiques d'occupation du sol constituent un indicateur majeur des changements locaux et globaux affectant non seulement les littoraux, mais l'ensemble des socioécosystèmes terrestres (Foley, 2005 ; Turner *et al.*, 2007). Au-delà d'un simple marqueur, ces changements constituent une des manifestations des interactions entre l'homme et son environnement. Ils sont en effet à la fois une cause et une conséquence des changements globaux, notamment le dérèglement climatique qui affecte la planète au moins depuis la révolution industrielle (Bonneuil et Fressoz, 2013).

¹⁵ Source de l'illustration, <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4802104b/f11.item>

Cela explique l'intérêt que lui portent depuis longtemps des disciplines variées (géographie, économie, aménagement, écologie du paysage, etc.), dont une partie s'est fédérée depuis près de 30 ans dans le cadre des LCS (Lambin et Geist, 2006 ; Turner, 2017). Leur développement s'inscrit dans la prise de conscience des changements climatiques affectant la Terre et découle des recherches conduites depuis les années 1990 sur leurs conséquences sur les écosystèmes et sur les activités humaines. Elles reposent sur une approche scientifique fondamentalement interdisciplinaire qui provient du constat que les changements biophysiques observés à la surface de la Terre ne peuvent s'expliquer sans intégrer les dimensions humaines, sociales et économiques, et les dynamiques d'occupation et d'usage du sol qu'elles engendrent (Turner *et al.*, 1994). Ces recherches se sont tout d'abord fédérées dans le cadre des programmes internationaux IGBP (*International Geosphere-Biosphere Programme*) et IHDP (*International Human Dimension Programme*), au sein desquels deux projets principaux concernaient les usages et l'occupation du sol (*Land Use/Land Cover, LUCC*, Turner *et al.* 1994) et les interactions terre-océan (*Land-Ocean Interactions in the Coastal Zone, LOICZ*, cf. Holligan and De Boois, 1993 ; Ramesh *et al.*, 2015).

Les travaux conduits au sein de ces projets ont contribué à démontrer l'ampleur des changements subis par la surface de la Terre du fait des activités humaines et leur accélération depuis le milieu du XIXe siècle et la révolution industrielle : urbanisation, déforestation, intensification ou au contraire déprise agricole (Lambin *et al.*, 2001 ; Lambin et Geist, 2007 ; Vitousek *et al.*, 1997) (fig. 2.2).

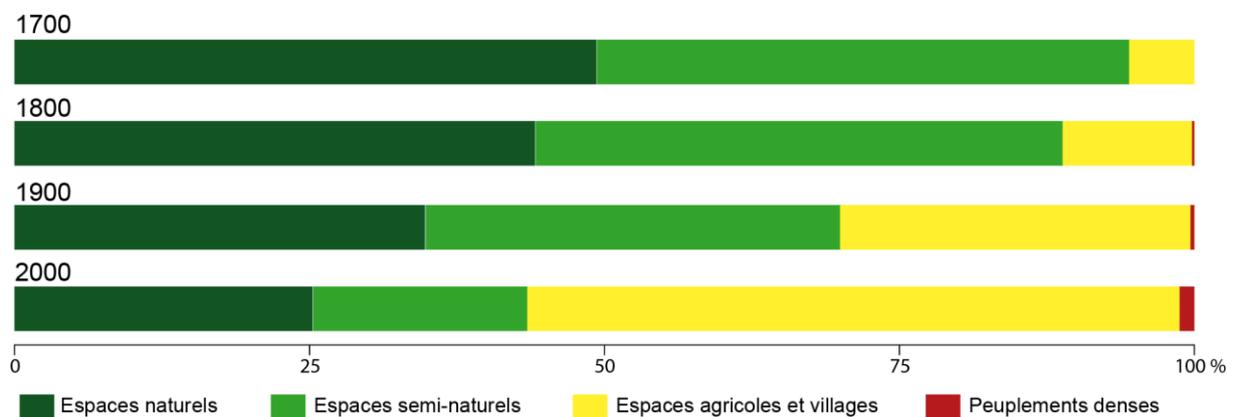


Figure 2.2 : Changements d'usage du sol à l'échelle globale depuis 1700 (d'après Ellis *et al.*, 2010)¹⁶.

Ces changements modifient par conséquent la capacité des écosystèmes à supporter les besoins humains (DeFries et Bounoua, 2004 ; Metzger *et al.*, 2006). Ils procurent des bénéfices, ou services écosystémiques, en sécurisant les moyens de subsistance grâce à l'augmentation de la part de production primaire destinée à la consommation humaine (notamment sous forme de ressources alimentaires) et en améliorant le confort, la richesse et le bien-être, par l'exploitation de matériaux ou d'énergie, mais aussi grâce aux aménités paysagères et récréatives (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Les changements d'occupation et d'usage du sol peuvent donc viser à optimiser les ressources procurées par la nature aux

¹⁶ <http://earthcharts.org/changing-global-land-use/>

sociétés humaines, en fonction d'intérêts plus ou moins partagés, et d'une maîtrise variable de leurs conséquences (Dupras *et al.*, 2016 ; Mendoza-González *et al.*, 2012). En contrepartie, par les altérations qu'ils provoquent sur les cycles biogéochimiques (eau, azote, carbone), le fonctionnement des écosystèmes et des chaînes trophiques, ces changements entraînent une baisse de la part des ressources disponibles pour les autres fonctions écosystémiques (DeFries *et al.*, 2004). Selon leur nature et leur intensité, ces changements peuvent se traduire par divers dommages sur les écosystèmes, de même que sur le potentiel d'usage du sol, que ce soit par perte de biodiversité, dégradation de la qualité agronomique, réduction de la disponibilité des ressources, en eau notamment, ou bien changement climatique (Lambin *et al.*, 2001). En retour, ces dégradations qui se manifestent à des échelles très variées exposent la société à des rétroactions et à divers aléas, ou disservices, de sévérité variable (Metzger *et al.*, 2006 ; Shackleton *et al.*, 2016).

2.1.3. Occupation ou usage du sol ?

À travers ces deux notions, différentes bien que tout à fait complémentaires, les LCS distinguent en fait deux sous-systèmes, biophysique et social, dont les moteurs et les processus diffèrent, mais qui interagissent pour produire des changements à différentes échelles.

L'occupation du sol se rapporte à la couverture biophysique de la surface de la Terre (Fisher *et al.*, 2014 ; Robin, 1995). Elle dépend de la nature des sols, de la couverture végétale et hydrologique, ainsi que des aménagements réalisés par les sociétés humaines. À petite échelle spatiale, on distingue quelques catégories principales : la végétation (formations végétales distinguées selon leur nature, leur taille, leur taux de recouvrement, leur dynamique, etc.), les sols nus, qu'ils soient naturels (roche, sable, etc.) ou artificiels (surfaces bâties, infrastructures, etc.), et les surfaces en eau ou zones humides qui peuvent être saisonnières et présenter des fluctuations de superficies. Les états de surface correspondants génèrent des signatures spécifiques, qui peuvent être enregistrées par l'imagerie satellitaire, dans différentes gammes du spectre électromagnétique (l'infrarouge par exemple permet de discriminer les surfaces en eau) et à différentes résolutions spatiales et temporelles (Brown et Duh, 2004 ; Corgne, 2014).

L'usage du sol correspond à une approche plus fonctionnelle, liée à l'utilisation socio-économique des différents types d'occupation du sol (Brown et Duh, 2004 ; Cihlar et Jansen, 2001). Il est par conséquent difficile à mesurer par l'imagerie seule ; des informations complémentaires sont indispensables pour comprendre les ressorts de ses évolutions qu'ils soient démographiques, réglementaires, fonctionnels (Fisher *et al.*, 2014). La Commission européenne distingue deux principales approches de l'usage du sol (European Communities, 2001). La première, l'approche fonctionnelle, repose sur la description des surfaces selon leur usage socio-économique : résidentiel, industriel, commercial, exploitation agricole ou forestière, usages récréatifs ou de conservation de l'environnement. La seconde approche est séquentielle. Elle repose sur la définition d'une série d'actions anthropiques destinées à accroître la productivité ou les bénéfices retirés des milieux. Elle concerne particulièrement l'agriculture à travers ses opérations de défrichage, de labour, d'ensemencement, de fertilisation et de récolte.

Si occupation et usage peuvent parfois être reliés (par exemple une terre labourée et son usage agricole), un même type d'occupation du sol peut avoir des fonctions et des usages différents selon le contexte social, économique et historique (Fisher *et al.*, 2014) (fig. 2.3). Cela explique que des milieux longtemps considérés comme répulsifs puissent, à l'occasion d'innovations techniques ou de mutations culturelles, devenir très attractifs. Le littoral en constitue un fort bon exemple. C'est le perfectionnement des techniques de drainage et de poldérisation qui a permis l'assainissement et la colonisation des zones basses de marais maritimes ou de mangroves (Verger, 2005 ; Wagret, 1959). C'est le renversement des valeurs sociales, sanitaires et esthétiques attribuées au littoral par la société et surtout ses élites qui a conduit au développement de la villégiature et des usages balnéaires, touristiques et récréatifs des rivages depuis le XIXe siècle (Corbin, 1990 ; Meur-Ferec, 2007). Ainsi, un marais maritime considéré autrefois comme répulsif et insalubre peut-il être aujourd'hui devenu espace de nature ou récréatif (promenade, observation des oiseaux, etc.) sans que sa couverture biophysique ait fortement évolué, en dehors de quelques aménagements destinés à l'accueil du public (Goeldner-Gianella, 2013).



Figure 2.3 : le port de Co' à Brest, un type d'occupation du sol (« Zone industrielle et commerciale » selon l'IPLI2000), plusieurs usages : urbain, commercial, industriel, récréatif...).

2.1.4. Facteurs déterminants les changements d'occupation et d'usage du littoral

On voit ainsi que les changements d'occupation et d'usage qui affectent un territoire dépendent de ses caractéristiques environnementales, tout autant que de son orientation socio-

économique, et des politiques publiques et choix d'aménagement qui y sont appliqués (Turner *et al.*, 1994). De manière un peu restrictive, les facteurs physiques (climat, topographie) ou biotiques (faune, flore, productivité primaire, etc.) peuvent être considérés comme définissant les « prédispositions naturelles » au changement de ces territoires (Lambin et Geist, 2007). Ils influencent par conséquent les effets des décisions politiques et d'aménagement. Mais ils ne peuvent pour autant pas être considérés comme déterministes, car ces décisions sont en contrepartie susceptibles de modifier certaines caractéristiques environnementales (ainsi que socio-économiques) d'un territoire. De plus, le caractère positif ou négatif de ces effets sur l'environnement et le système socio-économique peut être diversement perçu selon les points de vue et les intérêts des acteurs et des usagers du territoire en question.

Dans ce système d'interactions complexes, mêlant étroitement nature et société, différents types de facteurs sont généralement distingués (Lambin et Geist, 2007).

Les *facteurs naturels*, que l'on peut rapporter aux caractéristiques des écosystèmes, définissent l'aptitude des territoires à supporter les changements d'occupation et d'usage. Leur variabilité naturelle, qu'elle soit climatique (variation du régime de précipitations par exemple), ou géomorphologique (mobilité du trait de côte), tendancielle ou cyclique, progressive ou paroxysmique (tempête) est susceptible d'amplifier les pressions résultant des fortes demandes en ressources. On peut citer à nouveau l'exemple du rétrécissement du littoral qui découle de l'artificialisation du trait de côte (Doody, 2004) : celui-ci ayant perdu sa mobilité naturelle, les phases de recul ne peuvent plus être compensées par des réajustements dynamiques. Cette tendance est aggravée dans le contexte contemporain d'élévation du niveau marin (Neumann *et al.*, 2015 ; Pontee, 2013).

Les *facteurs économiques et technologiques* influencent la prise de décision en matière d'usage du sol en modifiant la rente foncière, ainsi que les taxes, les subventions, ou l'accès au crédit. Les changements concernent au premier chef les secteurs productifs, qu'ils soient industriels et commerciaux comme le montre l'exemple des pôles logistiques dont l'implantation et l'expansion sont arrimées à celle des grands établissements portuaires (Dablanc *et al.*, 2014), ou bien agricoles, comme dans le Var, où Daligaux et al. (2013) ont montré comment les surfaces agricoles ont reculé et se sont fragmentées au gré de l'expansion touristique et urbaine, tout en parvenant à se maintenir localement dans les secteurs viticoles de qualité.

Les *facteurs démographiques* ont un effet important sur l'usage des terres en fonction de l'augmentation (pression foncière) ou de la diminution de la population (déprise) (Parcerisas *et al.*, 2012). Les flux migratoires figurent parmi les facteurs les plus influents, car leurs variations peuvent se traduire par des mutations relativement intenses de la population locale (effectifs, structure des ménages, catégories socioprofessionnelles, âge, etc.), pouvant entraîner d'importants et rapides changements d'occupation et d'usage du sol (Chamseddine et Dupont, 2013 ; EEA, 2006a ; Neumann *et al.*, 2015). Sur le littoral, l'attrait touristique et la villégiature en constituent des exemples (Blondy, 2016 ; Burak *et al.*, 2004 ; Vincent, 2006). Dans ces espaces dotés de fortes aménités environnementales, la pression foncière s'accroît, et les inégalités de revenus y favorisent des phénomènes de ségrégation sociospatiale (Bermond et Marie, 2016 ; Buhot, 2009 ; Paül et Tonts, 2005).

Les *facteurs institutionnels* exercent une influence directe sur les changements d'occupation et d'usage du sol en fonction des orientations stratégiques et politiques définies à différentes échelles par les institutions territoriales, administratives ou sectorielles (Geniaux *et al.*, 2015 ; Melot et Bransieq, 2016 ; Onsted et Chowdhury, 2014). En particulier, les dispositifs réglementaires et les zonages environnementaux viennent se surimposer aux projets de territoires, inscrits dans le sol par la planification urbaine, et aux projets individuels des ménages, en définissant le droit de construction (Mimet *et al.*, 2013 ; Prévost et Robert, 2016). Ainsi, en tant qu'espace limité et soumis à une forte pression démographique, immobilière et économique et à la fois doté d'un patrimoine paysager et environnemental convoité et apprécié, le littoral fait l'objet d'une attention toute particulière. Elle se traduit par la multiplication des zonages environnementaux, complétés par des dispositifs réglementaires, parfois spécifiques au littoral (Merckelbagh, 2009 ; Norton, 2005 ; Zoppi et Lai, 2014). Néanmoins, ces zonages exercent souvent des effets paradoxaux, modérant les changements dans les espaces les mieux protégés, ou les stimulant dans leur voisinage... (Mimet *et al.*, 2013 ; Vimal *et al.*, 2012).

Enfin, les *facteurs culturels* intègrent les valeurs, les croyances et les perceptions individuelles des usagers et des gestionnaires des territoires, de même que leurs connaissances, leur information et leurs compétences (Robert, 2019). Généralement appréhendés par des méthodes de sciences humaines et sociales, ces facteurs sont essentiels pour comprendre les jeux d'acteurs, la diversité des postures, des statuts et des représentations. Ils fournissent notamment un éclairage sur la gestion des territoires, la conformité ou la résistance aux politiques publiques, ou bien les stratégies d'adaptation et la vulnérabilité face aux changements (Cadoret et Lavaud-Letilleul, 2013 ; Deboudt, 2015 ; Lavaud-Letilleul, 2012).

La *globalisation* est parfois également considérée comme un facteur de changement, mais elle en constitue en réalité plutôt un facteur d'amplification ou d'atténuation, en imposant aux territoires locaux des contraintes institutionnelles et réglementaires exogènes (par exemple la mise en place de dispositifs internationaux de protection de l'environnement) ou, au contraire, en contrariant ou en contournant certaines régulations locales sous l'effet de la concurrence économique et territoriale (Meyfroidt *et al.*, 2013).

Ces effets multidimensionnels interagissent à des échelles spatiales et temporelles variées, qui viennent complexifier encore le cadre des changements d'occupation et d'usage du sol.

2.1.5. *Dialectique d'échelles*

Une part importante de ces changements s'effectue à l'échelle locale, car ils sont motivés par les acteurs économiques et sociaux des territoires pour répondre à leurs besoins immédiats ou de court-terme (Lambin et Geist, 2006) : augmentation des ressources vivrières, optimisation de l'exploitation des ressources du territoire, logement, déplacement, etc. Ils s'opèrent même souvent à l'échelle de la parcelle foncière, qui constitue l'entité élémentaire d'aménagement du territoire (Carrion-Flores et Irwin, 2004 ; Poinot, 2008). Cela n'empêche pas qu'ils puissent, par addition et par diffusion, concerner en définitive de vastes superficies (Gibson *et al.*, 2000).

Selon leur nature, ces changements exercent un impact direct sur l'occupation du sol par sa transformation physique (défrichement, terrassements, revêtement, constructions diverses, etc.), ainsi que sur l'usage du sol par la modification de ses fonctions : d'espace naturel à agricole ou urbanisé, d'espace agricole à urbanisé. Ils se manifestent plus rarement dans le sens inverse, même si des exemples de restauration d'espaces agricoles ou naturels existent désormais, notamment sur le littoral au titre de mesures compensatoires (Goeldner-Gianella, 2013 ; Lavaud-Letilleul, 2012). Ces modifications ont des conséquences locales sur les écosystèmes et les territoires. Mais, l'ampleur des bouleversements induits par ces transformations directes ne doit pas être sous-estimée, car, bien que leurs effets individuels puissent être relativement limités, ils peuvent en définitive exercer un impact local majeur, par l'étendue et l'intensité des transformations induites sur les populations et les écosystèmes qui les supportent (Sonter *et al.*, 2015), ainsi que par leurs effets cumulés (Norton, 2005 ; Ollivier *et al.*, 2020 ; Singh *et al.*, 2020). De plus, ces évolutions ponctuelles, même d'ampleur limitée, sont généralement bien plus rapides que les évolutions structurelles d'échelle supérieure (Geist *et al.*, 2006).

Au-delà des sites modifiés, ces transformations peuvent exercer des effets proximaux de distances variables, à travers les échanges de flux et de matières inhérents aux écosystèmes et aux systèmes socio-économiques. C'est particulièrement le cas sur les littoraux, qui constituent l'exutoire de la majeure partie des cours d'eau de la planète. Les conséquences des changements d'occupation du sol peuvent ainsi se propager depuis l'ensemble des bassins versants, jusqu'à leur embouchure maritime, en y déversant les sédiments arrachés par l'érosion et les polluants émanant des activités humaines tout au long de leurs cours d'eau (Syvitski, 2005) ou bien en affectant les apports sédimentaires nécessaires à la stabilité dynamique des systèmes littoraux (Vörösmarty *et al.*, 2003). De même, la construction d'ouvrages de protection ou d'ouvrages portuaires sur le trait de côte se traduit généralement par des effets sur les rivages situés à leur proximité, notamment en aval de la dérive littorale (Costa et Davidson, 2004 ; Lageat, 2004).

Par ailleurs, une partie des facteurs déterminant les évolutions locales correspond à des processus, ou à des prises de décision d'échelle supérieure, régionale, voire globale, pouvant échapper au contrôle des acteurs locaux. Par exemple, la réglementation est souvent édictée au niveau national, bien que ses implications soient locales et ses principes impulsés par des initiatives ou des directives internationales. Ainsi, la mise en œuvre de certains zonages environnementaux d'influence nationale ou internationale revient à retrancher une partie des territoires littoraux des dynamiques foncières et d'urbanisation (Fottorino et Soares, 2005 ; Onsted et Chowdhury, 2014). En conséquence, ils tendent souvent à accroître la pression sur les espaces « banals » avoisinants (Dantas *et al.*, 2011). De même, bien que ses effets soient discutés, la loi Littoral pèse d'une certaine manière sur les projets de territoires à l'échelle locale (Melot et Paoli, 2013 ; Prévost et Robert, 2016). Quant à elles, les orientations économiques dépendent non seulement des ressources propres des territoires, mais de plus en plus de leur inscription au sein des réseaux, des interdépendances et rapports de force économiques et institutionnels régionaux, nationaux ou internationaux. Enfin, les effets cumulés de ces transformations locales sont susceptibles d'alimenter des processus régionaux ou globaux tels

que la sensibilité des sols à l'érosion, la diffusion de polluants aquatiques ou atmosphériques, l'augmentation de l'albédo ou des contrastes thermiques, la réduction des précipitations, etc. À partir d'une certaine ampleur et cumulés entre eux, ces processus locaux peuvent exercer une influence notable et contribuer à alimenter des tendances à des échelles supérieures, qu'elles soient régionales ou globales (Lambin et Geist, 2006).

Réciproquement, les changements régionaux ou globaux produisent des effets territorialisés à différentes échelles (Turner, 2017). Les changements climatiques dont les implications courent sur le long-terme, vont nécessiter des réponses sociétales, qui impliqueront très probablement des adaptations de l'usage du sol et auront donc des conséquences sur son occupation. Les littoraux figurent parmi les espaces les plus exposés à ces évolutions, ne serait-ce qu'à travers la tendance marquée d'élévation du niveau marin. Elle va imposer la mise en place de politiques volontaristes de réaménagement des espaces littoraux, par l'adaptation des modes d'occupation (urbains, économiques ou récréatifs), voire par leur recomposition spatiale, impliquant probablement le retrait de certains aménagements vers leur arrière-pays moins exposé (Dronkers *et al.*, 1990 ; Lageat, 2004 ; Lambert, 2013). De même, la mondialisation de l'économie se traduit par l'adaptation des processus industriels, donc de l'organisation du transport des marchandises et des produits manufacturés (flux tendu, juste à temps) et de ses infrastructures. Ainsi l'optimisation de la rentabilité économique du transport maritime se traduit par un accroissement considérable de la taille des navires ; ce gigantisme naval ayant lui-même des implications sur le dimensionnement des aménagements portuaires et logistiques. Ces aménagements ont naturellement des effets territoriaux et sociaux sur les régions portuaires, qui aboutissent par exemple à une forte consommation d'espaces naturels littoraux, ainsi qu'à d'importantes implications socioprofessionnelles (organisation du travail, destruction d'emplois portuaires) (Lavaud-Letilleul, 2012 ; Subra, 1999).

Le suivi et l'analyse de ces transformations multiscalaires et multithématiques représentent un enjeu majeur pour la compréhension des changements environnementaux et sociaux (Lambin *et al.*, 2001).

2.1.6. Occupation et usage du sol au cœur de systèmes en interaction

Occupation et usage du sol résultent des relations complexes entre systèmes sociaux et systèmes environnementaux, de leurs interactions et de leurs évolutions à différentes échelles spatiales et temporelles. Ces deux notions sont tout à fait complémentaires et en étroite interaction (fig. 2.4). En effet, l'occupation du sol est avant tout le produit des conditions biophysiques du milieu, tandis que ses usages résultent des liens fonctionnels qu'entretiennent les sociétés humaines avec leurs milieux, en fonction des modes d'appropriation et des systèmes de production qu'elles parviennent à mettre en œuvre dans les cadres socioculturels qu'elles ont adoptés. L'occupation du sol qui se matérialise par des états de surface se voit « du dessus » et son étude repose par conséquent principalement sur des méthodes de cartographie, notamment de télédétection. L'usage du sol, plus fonctionnel, s'appréhende « du dedans », par des méthodes d'enquêtes, le terrain, l'analyse de données statistiques, réglementaires, organisationnelles, etc. Les deux notions fournissent ainsi des indicateurs très pertinents des

relations complexes qu'entretient l'homme avec son environnement, que l'étude de leurs changements permet alors de mieux comprendre (Lambin et Geist, 2006 ; Turner *et al.*, 1994).

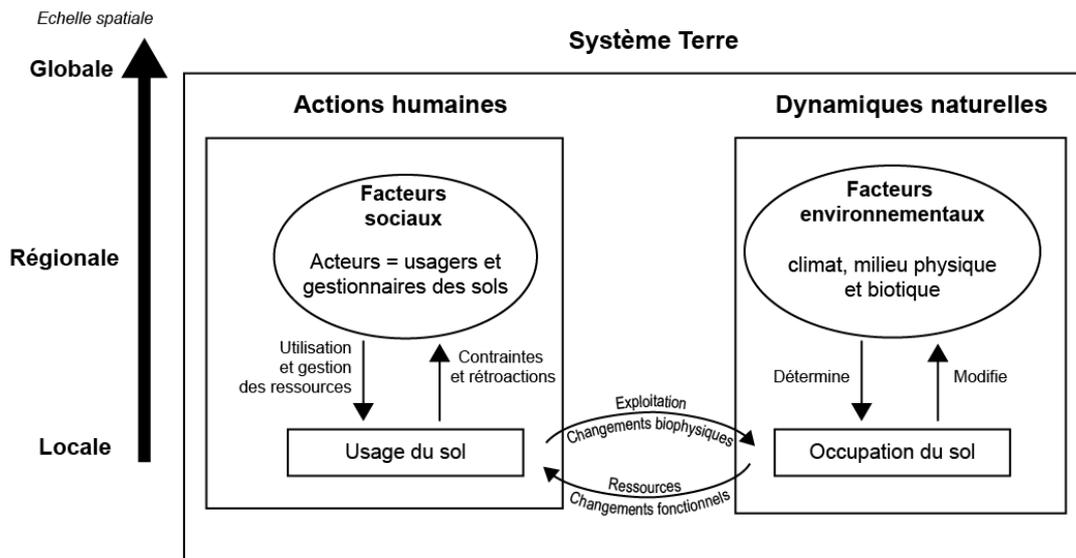


Figure 2.4 : Cadre conceptuel des LCS (d'après Hubert-Moy, 2004, in Sparfel, 2011 ; Turner *et al.*, 2007)

Dans ce but, le domaine d'investigation des LCS se déploie depuis l'observation et le suivi des changements d'occupation et d'usage du sol, vers leur compréhension à l'aune du système homme-environnement, jusqu'à la modélisation de leur évolution et de leurs conséquences, notamment en termes de vulnérabilité, de résilience ou de durabilité (Turner *et al.*, 2007).

2.2. Méthodes et données pour l'étude des changements d'occupation et d'usage du littoral

Les LCS ont très précocement mobilisé les méthodes et les données de la géomatique pour observer, analyser et simuler les dynamiques spatiales et temporelles liées aux changements d'occupation du sol. En retour, elles ont apporté une contribution très significative au développement de la géomatique en structurant leurs observations dans des bases de données, en améliorant les protocoles de traitement, d'analyse et de restitution de ces données (Agarwal *et al.*, 2002 ; Herold *et al.*, 2003 ; Parker *et al.*, 2003 ; Patino et Duque, 2013). Elles mobilisent également des méthodes de simulation des dynamiques d'occupation du sol à différentes échelles spatiales et temporelles, et contribuent au développement des approches prospectives pour scénariser et modéliser les évolutions futures à moyen terme, en tenant compte des tendances et des scénarios développés notamment par le GIEC¹⁷.

2.2.1. La télédétection, de l'hégémonie à la fusion de données

Depuis les années 1970, l'imagerie satellitaire s'est progressivement imposée comme une source de données privilégiée pour l'extraction d'informations relatives à l'occupation du sol et à leur évolution temporelle, notamment sur le littoral (Cuq *et al.*, 1996 ; Guillopé *et al.*, 1994 ;

¹⁷ Voir par exemple https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/IPCC-Special-Report-1.5-SPM_fr.pdf

Perrotte, 1986). Elle offre en effet une vision synoptique et répétée de l'occupation du sol, tout en permettant des traitements automatisés et reproductibles.

Au tournant du XXI^e siècle, la multiplication des programmes spatiaux permet d'accéder à une offre étendue d'images de résolutions spatiale, spectrale et temporelle variées. Les images disponibles permettent désormais des restitutions à haute voire très haute résolution spatiale (2,5 m pour SPOT5, métrique à inframétrique pour QuickBird, Ikonos ou Pléiade), une haute fréquence d'observation (répétitivité de 2 à 3 jours pour Spot-5, 24 h pour Pléiades), tout en étendant la gamme de mesure, du visible notamment jusqu'aux micro-ondes (Vitter, 2018). Ces perfectionnements ont permis d'appréhender beaucoup plus finement les processus d'évolution de l'occupation du sol, en s'approchant de l'échelle spatiale des changements – notamment celle de la parcelle foncière – tout en multipliant les observations saisonnières (notamment dans le domaine de l'agriculture).

L'imagerie satellitaire est complétée par la photographie aérienne dont l'apport est resté important. Malgré les contraintes techniques et méthodologiques qu'impose leur traitement, les photos aériennes offrent en effet une profondeur historique plus importante que l'imagerie satellitaire. Les missions photographiques aériennes verticales de l'IGN sont disponibles depuis les années 1950¹⁸. Elles fournissent par conséquent un recul intéressant pour appréhender les évolutions récentes majeures ayant affecté les littoraux français, qu'elles soient de nature urbaine, industrielle ou touristique. La couverture du territoire est complète, à des échelles allant de 1/1 000 à 1/50 000, et avec une résolution spatiale inframétrique. Ces échelles sont bien adaptées à l'observation fine des changements d'occupation du littoral qui, en dehors des grands programmes d'équipement touristique ou portuaire, sont majoritairement liés à des opérations d'aménagement locales, voire individuelles, à l'échelle de la parcelle foncière. En revanche, la mise en œuvre de missions aériennes étant complexe et coûteuse, leur répétitivité s'établit entre 5 et 10 ans selon les régions. Elle peut s'avérer insuffisante pour restituer avec précision certains changements d'occupation et donc pour en comprendre les logiques spatiales et les facteurs déterminants. De ce point de vue, par sa flexibilité, l'imagerie par drone constitue un complément très pertinent à l'imagerie aérienne et satellitaire pour des approches locales, en permettant d'optimiser les résolutions spectrale, spatiale et temporelle (Alvarez-Vanhard et al., 2020).

Les méthodes de traitement d'image se sont également considérablement développées. Aux méthodes « classiques » de classifications spectrales, se sont ajoutées les méthodes orientées-objet, et aujourd'hui le *Deep learning* et la fusion d'information (Corgne, 2014 ; Denize *et al.*, 2018). La fusion d'image contribue à améliorer la connaissance des objets, par des sources d'informations diverses (satellites, données terrains, statistiques, couches d'information géographique, etc.), ou par des règles de décisions. Les systèmes d'information géographique (SIG) offrent alors un cadre conceptuel et méthodologique, ainsi que des outils performants

¹⁸ Les missions aériennes historiques de l'IGN sont désormais accessibles par le Géoportail : <https://remonterletemps.ign.fr/>

pour intégrer sous forme structurée ces données de sources variées à l'aide de référentiels géographiques cohérents, pour les analyser et les restituer sous des formes variées.

2.2.2. SIG et analyse spatiale

L'organisation et la mutualisation des connaissances, la recherche de méthodes communes d'étude, sont considérées comme d'impérieuses nécessités pour améliorer la pertinence des analyses et l'efficacité des actions des pouvoirs publics (Vallega, 2005). C'est particulièrement le cas sur le littoral où les responsabilités et les compétences apparaissent toujours très cloisonnées, que ce soit territorialement (en fonction notamment des domaines maritime et terrestre), sectoriellement ou administrativement (Baron, 2017 ; Mineo-Kleiner *et al.*, 2021), multipliant ainsi les sources de données et leurs objectifs d'utilisation. La maîtrise de cette connaissance revêt une importance particulièrement cruciale dans un contexte global d'intensification de l'occupation et de l'usage des espaces littoraux. Cette intensification se matérialise sous l'effet de la littoralisation et de l'urbanisation qu'elle engendre, de sa projection vers la mer côtière et de la multiplication de ses usages (développement des énergies marines renouvelables, de l'extraction des granulats marins et des activités de loisir notamment), ou bien des effets de rétroaction multiscalaires qui en découlent : crise de la ressource halieutique, changements climatiques, augmentation de l'exposition aux risques côtiers (Euzen *et al.*, 2017 ; Masselink et Gehrels, 2014). Dans ces conditions, la collecte de données issues de sources variées, et leur structuration sous une forme cohérente et accessible ont été précocement identifiées comme un enjeu essentiel pour disposer d'une information géographique utile en matière de gestion intégrée du littoral (Cicin-Sain & Knecht, 1998 ; Dauvin, 2002).

Par la diversité des milieux qui s'y développent, la complexité des processus et des interactions qui les relient, et l'intensification de son occupation et de ses usages, le littoral apparaît particulièrement propice à l'approche systémique sur laquelle reposent les systèmes d'information géographique (Cuq, 2000). Les SIG peuvent ainsi être considérés comme des « *systèmes fédérateurs* » permettant d'établir un lien tangible entre les compartiments écologiques et humains des systèmes côtiers, à partir de données de sources, de thématiques, d'échelles et de formats variés. Ils offrent notamment les fonctionnalités permettant d'adapter les formes de représentation et la précision de l'information selon l'échelle, le pas de temps ou l'orientation thématique. En conservant un lien fonctionnel entre ces représentations, les SIG permettent d'améliorer les conditions d'interopérabilité entre les données pour modéliser les relations complexes entre usages et milieux à différentes échelles spatiales et temporelles et pouvoir ainsi fournir une information utile à la GIZC (Bartlett, 1999 ; Gourmelon et Robin, 2005).

À la suite des applications consacrées à la gestion des systèmes urbains (Pornon, 1990), à l'occupation du sol (Crain et Mc Donald, 1984), ou bien à l'écologie du paysage (Haines-Young, 1996), les SIG dédiés au littoral se sont considérablement développés à la charnière des années 1980-90 (Breda *et al.*, 1997 ; Perrotte, 1986 ; Ricketts, 1992). Dans un premier temps, les SIG littoraux ont été essentiellement développés dans le cadre d'inventaires des connaissances, de description des littoraux et de cartographies thématiques (Fricker et Forbes, 1988 ; Grelot,

1982 ; Perrotte, 1986). À l'appui de ces inventaires, les premiers bénéfices retirés de l'emploi des SIG provenaient des fonctions offertes pour le récolement de données de formats et de sources variées, en vue de la production d'une information géographique cohérente (Tortell, 1992), aisément accessible et mobilisable (Ehler *et al.*, 1982). Les perspectives d'analyse quantitative et spatiale de l'information géographique rassemblée dans les SIG étaient déjà soulignées, mais constituaient, au regard des conditions d'acquisition de données de l'époque, un état supérieur de développement des SIG (Bartlett *et al.*, 1995 ; Ricketts, 1992).

Dans le domaine spécifique des changements d'occupation et d'usage des sols, les apports des SIG accompagnent les progrès de l'informatique, et de la qualité de l'information géographique accessible pour la recherche. La numérisation des données spatialisées a ouvert la possibilité de restituer quantitativement, et non plus seulement cartographiquement, l'occupation du sol et son évolution. Par exemple, dans le cadre d'une recherche sur l'évolution de l'urbanisation à l'île d'Yeu, la photo-interprétation des parcelles bâties et leur report sur un fond parcellaire en vue de leur numérisation, a permis d'évaluer la capacité résiduelle d'urbanisation, par confrontation aux zonages du Plan d'occupation des sols (Pottier et Robin, 1993, 1997). Outre la représentation cartographique à façon (espaces urbanisés, espaces vacants, évolutions), cette numérisation a permis d'améliorer la gestion des données (archivage, transfert) et leur analyse quantitative (statistiques des surfaces urbanisées, quantification des changements), ainsi que leur confrontation avec d'autres données numérisées (POS). L'intégration de données multisources constitue d'ailleurs l'un des apports majeurs des SIG, car elle permet de multiplier les possibilités d'analyses thématiques. L'imagerie satellitaire SPOT a ainsi été employée pour délimiter les zones urbanisées du littoral du Calvados, en évaluer l'évolution et la confronter par analyse spatiale aux grands principes de la loi Littoral (extension d'urbanisation, coupures d'urbanisation, identification des espaces remarquables) à partir des données IPLI77, de la BDCarto IGN et des zonages ZNIEFF (Guillopé *et al.*, 1994).

L'utilisation de systèmes de référence spatiale explicites et cohérents facilite l'analyse de données multisources ainsi que les analyses diachroniques, pour restituer des dynamiques spatiales et en comprendre les évolutions. Ce type d'analyse a été développé sur l'île d'Ouessant pour analyser le processus de déprise agricole et l'effet de son enfrichement sur le paysage (Gourmelon *et al.*, 2001). L'interprétation du cadastre napoléonien et de plusieurs missions aériennes a permis de numériser trois couches d'information géographique (1844, 1952, 1992), à partir desquelles une analyse diachronique a été conduite par algèbre de cartes. L'évolution de l'enfrichement et sa quantification, associées à l'analyse de l'organisation de l'élevage ovin et des potentialités agronomiques de l'île ont permis d'élaborer des scénarios d'évolution de l'enfrichement et de proposer des préconisations pour sa gestion. Associés aux algorithmes de géotraitement, le développement des outils d'analyse de réseaux a permis de prendre en compte les critères de distance, d'accessibilité et de mobilité différenciée pour intégrer les facteurs géographiques déterminant les changements d'occupation du sol (Thériault *et al.*, 2005) : distance aux centres urbains, aux services (notamment scolaires) ou aux aménités environnementales (zones naturelles protégées).

L'amélioration de l'interopérabilité facilite en effet le couplage des SIG avec des bases de données, métiers ou institutionnelles, ainsi que l'importation et l'exportation de l'information géographique depuis et vers des plateformes et des logiciels spécialisés, notamment pour la modélisation statistique ou spatiotemporelle des changements d'occupation du sol. Les données des SIG viennent ainsi alimenter la construction de bases de données destinées à développer des méthodes d'analyse statistique multifactorielles pour analyser par exemple la contribution de facteurs sociospatiaux à l'évolution de l'occupation et de l'usage du sol. Ce type d'approche, qui peut mobiliser des données de natures très variées (environnementales, démographiques, foncières, etc.) est, par exemple, couramment développé dans l'analyse des facteurs déterminant le développement résidentiel et les valeurs foncières (Geniaux *et al.*, 2015 ; Thériault *et al.*, 2003). Un autre type de modélisation de l'urbanisation s'est appuyé sur des méthodes de traitement d'images pour exploiter des cartes de l'artificialisation du littoral à l'aide d'opérateurs de morphologie mathématique (fermeture, transformations morphologiques) dans le but de rechercher les règles de diffusion du bâti sur le littoral languedocien et de projeter les grandes lignes de l'urbanisation future (Voiron-Canicio, 2007). Également dans une approche prospective, Houet *et al.* (2008) ont développé une modélisation spatiotemporelle pour accompagner la mise en place du SAGE du bassin versant du Blavet en mobilisant une méthode fondée sur des scénarios d'évolution de l'agriculture, au regard des systèmes de production, des stratégies d'exploitation agricole, des orientations de la Politique agricole commune européenne, et de celles de la gestion de l'eau. Dans ce contexte, l'avantage des SIG réside dans l'échange des données avec les acteurs locaux et l'exploitation de jeux de données déjà structurés qui permet de concentrer les efforts sur la modélisation. Un autre apport des SIG provient de l'intégration de la 3D qui favorise la restitution de l'information géographique dans des formes accessibles au grand public, à des fins de vulgarisation et de médiation scientifique autour des enjeux liés aux changements d'occupation et d'usage du sol. Par exemple, une visualisation dynamique a été développée, à partir de données topographiques Lidar, afin de simuler les effets du changement climatique et de l'élévation du niveau marin sur l'érosion côtière et l'occupation du littoral anglais du Norfolk (Brown *et al.*, 2006). L'application est conçue à la fois en tant qu'outil de réflexion prospective et de communication scientifique à l'intention des décideurs, et de support de sensibilisation de la population aux enjeux liés à ces changements. Elle ouvre ainsi la voie vers la co-construction de scénarios prospectifs. La modélisation d'accompagnement poursuit les mêmes types d'objectifs en se nourrissant de l'information géographique pour développer des jeux de rôle associant scientifiques et acteurs locaux autour de réflexions prospectives sur des thématiques variées concernant l'évolution de leur territoire (Gourmelon *et al.*, 2013).

Ces quelques exemples montrent la diversité des apports des SIG à l'analyse des problématiques liées aux changements d'occupation et d'usage du sol, notamment sur le littoral. L'évolution de ces travaux s'appuie en partie sur l'amélioration de l'information géographique, et de son accessibilité, en tant que substance des SIG.

2.2.3. Quelles sources de données pour analyser les changements d'occupation et d'usage du littoral ?

Le processus a été long pour réunir les conditions d'accessibilité, de disponibilité et de qualité de l'information géographique requises dans une perspective de gestion intégrée et de développement durable du littoral (Georis-Creuseveau, 2014). Il a fallu que les institutions européennes affirment, à travers l'adoption d'un cadre réglementaire¹⁹, le rôle essentiel de l'accès à l'information dans leur fonctionnement démocratique, notamment pour promouvoir la participation et l'adhésion des citoyens aux politiques qu'elles contribuent à mettre en œuvre. La transcription dans le droit français de ces textes de référence a amorcé un véritable mouvement de « libéralisation » des données publiques et la multiplication de portails de diffusion²⁰ (Gourmelon *et al.*, 2019). Le Géoportail a été construit pour répondre à ces obligations, et devenir le portail national de référence pour l'accès aux données géographiques publiques²¹. Ses déclinaisons régionales (CRIGE PACA, GéoBretagne, GéoAquitaine, etc.) ont été initiées par les collectivités pour anticiper sa mise en place et faciliter l'accès à l'information géographique pour l'ensemble de leurs partenaires. Des portails web institutionnels ont été développés à partir de 2010 pour mettre à disposition du public l'information géographique de référence produite par les établissements publics et les services de l'État : BDCarthage par le portail du SANDRE, zonages des espaces naturels protégés par CARMEN, trait de côte Histolitt par le Géolittoral, etc. Plus récemment (1^{er} janvier 2011), la diffusion du Référentiel grande échelle (RGE) de l'IGN a été étendue pour l'exercice des missions de service public ainsi que pour la recherche. Depuis, la disponibilité de l'information géographique produite dans le cadre de la fonction publique s'est encore développée, notamment au travers de la mise à disposition publique des données cadastrales et foncières des services des impôts, notamment par l'entremise du Cerema.

Sans se vouloir exhaustive, cette section vise à présenter l'offre d'information géographique numérique pertinente et actuellement disponible pour analyser les changements d'occupation du littoral français. Une vue synthétique en est proposée dans le tableau 2.1.

Les référentiels d'occupation du sol classiques CLC et IPLI

Initié en 1985, le programme de Coordination de l'information sur l'environnement (CORINE) visait à « collecter, coordonner et mettre en cohérence l'information sur l'état de l'environnement et des ressources naturelles de la Communauté européenne ». Il est aujourd'hui piloté par l'Agence européenne de l'environnement²² et diffusé par le service COPERNICUS²³. CORINE Land

¹⁹ Convention d'Aarhus 2003/4/CE du Parlement européen concernant l'accès du public à l'information en matière d'environnement, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=LEGISSUM%3A128056> ; Directive INSPIRE 2007/2/CE : <https://inspire.ec.europa.eu/>

²⁰ Observatoire des plateformes d'information géographique, <http://observatoire-des-plateformes.afigeo.asso.fr/>

²¹ Le « Portail des territoires et des citoyens » (<http://www.geoportail.fr/>) est un site de référence pour l'accès aux données géographiques publiques permettant l'accès partagé entre services de l'État, le porter à connaissance, la consultation en ligne, le catalogage et la diffusion en ligne.

²² <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0>

²³ <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/copernicus-land-monitoring-service-corine>

Cover est un inventaire biophysique de l'occupation des terres couvrant 39 pays européens à cinq dates désormais : 1990, 2000, 2006, 2012 et 2018. Il fournit en outre une analyse des changements entre ces dates. CLC est fondé sur une nomenclature emboîtée qui permet une description homogène du territoire européen à trois échelles. Au 1/1 000 000, 5 classes décrivent les grandes catégories d'occupation du sol repérables à l'échelle de la planète. L'échelle intermédiaire, le 1/500 000 comprend 15 classes, tandis que le niveau le plus fin décrit l'occupation du sol au 1/100 000 en 44 postes, dont 7 concernent spécifiquement la zone côtière. CLC est couramment employé pour décrire les changements d'occupation du sol à l'échelle européenne (Colantoni *et al.*, 2016 ; EEA, 2006b), notamment sur le littoral (EEA, 2006a). Au plan national, il est employé pour établir des bilans jusqu'au niveau départemental²⁴. Son échelle moyenne et son unité minimale de cartographie (25 ha, 5 ha pour les changements), qui s'expliquent par sa méthode de production basée sur l'interprétation visuelle d'images satellitaires, le rendent peu approprié pour des diagnostics et des analyses de niveau local. Mais sa nomenclature emboîtée constitue une référence pour des déclinaisons locales de cartographie d'occupation du sol (Girard *et al.*, 1997 ; Robert, 2016).

À une échelle plus fine (1/25 000), l'Inventaire permanent du littoral (IPLI) a été initié en 1977 par la DATAR dans le cadre d'un Comité interministériel d'aménagement du territoire en réponse à la prise de conscience des pouvoirs publics des enjeux spécifiques du littoral français (Gesta, 1987). La cartographie couvre une bande d'environ cinq kilomètres en mer et dix kilomètres à l'intérieur des terres sur l'ensemble du littoral français métropolitain. L'IPLI a été produit par photo-interprétation de clichés aériens, reportée sur des fonds de carte topographique IGN au 1/25 000 à l'aide de calques et avec une unité minimale de cartographie de 1 ha. Sur les 43 classes que compte l'IPLI, 29 décrivent l'occupation du sol, les 14 autres décrivant certains usages de l'espace maritime (conchyliculture par exemple) ou bien son statut juridique. Cette cartographie avait vocation à être réactualisée tous les cinq ans. Mais après le premier millésime de 1977, seule une actualisation partielle en a été effectuée en 1982. La numérisation de la partie terrestre, concernant l'occupation du sol, de cette donnée par le CETE Normandie-Centre²⁵ et des mises à jour ponctuelles dans certaines régions (Aquitaine, Bretagne) témoignent pourtant de son intérêt au niveau local. Aussi, suite à la publication de la Directive INSPIRE, le CETE Normandie-Centre a-t-il été mandaté pour actualiser l'IPLI à l'échelle nationale. En s'appuyant sur les données d'occupation du sol existantes et sur l'harmonisation de leur nomenclature, inspirée notamment de celle de CORINE Land Cover, une nouvelle version baptisée Litto-MOS a été publiée en 2011. Cette base de données diffusée par le Géolittoral, décrit l'occupation du sol dans les départements littoraux (Charente-Maritime exceptée) entre 2000 et 2006 à deux niveaux : national au 1/25 000 avec une nomenclature du second niveau de CORINE Land Cover, et une cartographie départementale avec une nomenclature de quatrième niveau²⁶. Cependant, le mode de production de l'IPLI rend complexe sa mise à jour, et constitue une source de variabilité dans la cartographie qu'elle

²⁴ Voir le site : <https://ree.developpement-durable.gouv.fr/themes/milieus-et-territoires-a-enjeux/mer-et-littoral/economie-et-demographie/article/occupation-du-sol-suivant-la-distance-a-la-mer-entre-2012-et-2018>

²⁵ <http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/historique-a382.html>

²⁶ http://cartelie.application.developpement-durable.gouv.fr/cartelie/voir.do?carte=litto_MOS&service=CEREMA

soit spatiale (généralisation de niveau variable d'un secteur à l'autre) ou sémantique (différentes appréciations des états de surface), car la photo-interprétation dépend largement de la formation, de la connaissance du terrain et de la charge de travail des interprètes.

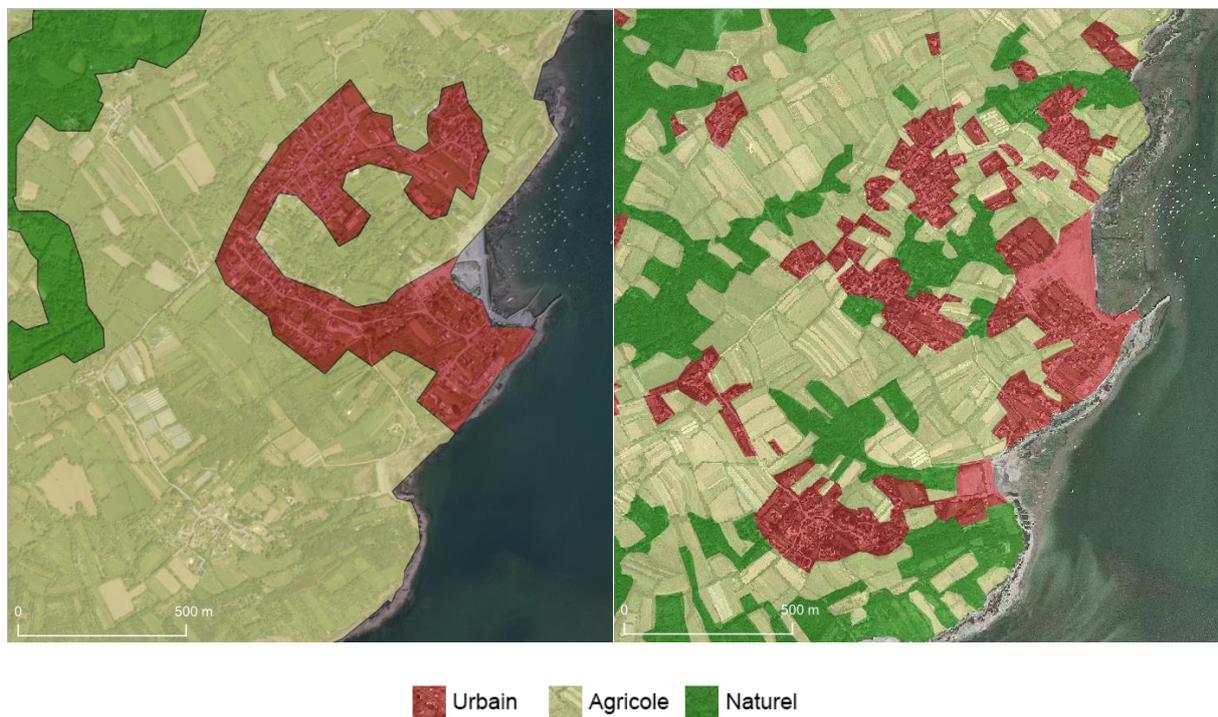


Figure 2.5 : Les limites de CORINE Land Cover 2018 (à gauche) et de l'IPLI2000 (à droite) pour la restitution de l'urbanisation diffuse (fonds de carte : GéoBretagne, 2018 ; Ortholittorale 2000)

D'autres référentiels à grande échelle sont disponibles localement ou régionalement, mais présentent de ce fait une assez grande hétérogénéité scalaire et sémantique de même que temporelle (fréquence de mise à jour). Un inventaire critique exhaustif est fourni dans la thèse de Maxime Vitter (Vitter, 2018). Il convient de signaler en outre, la carte d'occupation du sol Theia-Land, récemment mise à disposition dans le cadre de la très grande infrastructure de recherche DataTerra²⁷. Cette couche d'information géographique produite automatiquement à partir des données Sentinel-2A et Sentinel-2B restituée à l'échelle nationale et à une résolution de 10 m, l'occupation du sol déclinée en 23 classes. Deux millésimes sont disponibles (2018 et 2019), outre les quatre millésimes historiques (2009, 2010, 2011 et 2014) produits à partir des données Landsat 5 à la résolution spatiale de 30 m.

Le RGE - Référentiel grande échelle de l'IGN

Le RGE, produit, entretenu et diffusé par l'IGN²⁸, est composé de bases de données au format raster (BD ORTHO®) et vectoriel (BD TOPO®, BD PARCELLAIRE®, BD ALTI®). Il constitue le socle de l'information géographique à destination des acteurs publics, notamment les collectivités territoriales. Le RGE est disponible sous licence pour l'enseignement et la

²⁷ <https://www.theia-land.fr/product/carte-doccupation-des-sols-de-la-france-metropolitaine/>

²⁸ <http://professionnels.ign.fr/rge> ; <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/referentiel-a-grande-echelle-rge/>

recherche depuis le 1^{er} janvier 2011, ce qui a permis d'en favoriser l'utilisation, notamment pour les travaux s'appuyant sur un état de l'occupation du sol (Guetté *et al.*, 2018 ; Rousseaux, 2009). Afin d'élargir leur usage et « favoriser l'innovation », les données publiques de l'IGN sont « libres et accessibles gratuitement en licence ouverte au service du plus grand nombre », depuis le 1^{er} janvier 2021²⁹.

La BD TOPO, ou base de données topographique de l'IGN³⁰ produite d'après la BD ORTHO®, est constituée de plusieurs couches d'information thématique qui fournissent une description détaillée de l'emprise et de certaines caractéristiques des voies de communication, des réseaux de transport, de l'hydrographie, de lignes et limites diverses, des bâtiments, de la végétation et de l'altimétrie (cette dernière constituant la BD ALTI®). L'intérêt majeur de cette base de données provient de son format vectoriel, qui permet de sélectionner individuellement les entités dont elle est constituée, et de son échelle d'utilisation, supérieure au 1/10 000 (précision planimétrique et altimétrique de l'ordre de 2,5 m). En revanche, ces données présentent une faible précision thématique, car les descripteurs associés aux entités sont peu étoffés, ou peu précis. Par exemple, les bâtiments ne sont décrits que par grande rubrique (industriels, remarquables ou indifférenciés – comprenant les bâtiments résidentiels), et leurs seules caractéristiques décrites sont l'altitude du bâtiment et sa hauteur (au mètre près). De plus, la donnée temporelle archivée dans le RGE renseigne seulement la version de la base de données, et non la date des entités géographiques qui la constituent. Elle ne permet donc pas d'en suivre l'évolution sémantique et géométrique (Rousseaux, 2010). Enfin, le RGE n'offre qu'une faible profondeur historique (début des années 2000) et certains thèmes ne sont mis à jour que tous les 3 à 5 ans en fonction de l'actualisation des missions aériennes.

La BD PARCELLAIRE® est un assemblage géoréférencé et corrigé géométriquement du plan cadastral informatisé (PCI) produit par la Direction générale des finances publiques (DGFIP). Il en constitue en quelque sorte la version géométriquement compatible avec la BD ORTHO® et BD TOPO®. En contrepartie, sa richesse thématique reste limitée à quelques descripteurs, notamment l'identifiant des parcelles. L'ensemble des attributs descriptifs utiles à des fins d'analyse des enjeux n'est accessible que dans la donnée cadastrale elle-même.

Plan cadastral informatisé et fichiers fonciers

Administré par la DGFIP³¹, le cadastre constitue un « *un inventaire exhaustif et permanent, descriptif et évaluatif de la propriété foncière* » bâtie et non bâtie, dont l'objectif est de constituer la garantie juridique de la propriété individuelle et de permettre le calcul des impôts relevant de la fiscalité directe. Il a été progressivement numérisé depuis 1993 (CERTU, 2006). Depuis 2009, ces données sont consolidées et enrichies par le Cerema en appui des politiques publiques³².

Le cadastre contient une documentation graphique, le Plan cadastral informatisé (PCI), et une documentation littéraire, la matrice cadastrale, appelée base MAJIC (Mise à jour des

²⁹ https://geoservices.ign.fr/blog/2021/01/14/FAQ_Gratuite.html

³⁰ <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>

³¹ Direction générale des Finances publiques

³² <https://datafoncier.cerema.fr/donnees/fichiers-fonciers>

informations cadastrales). Le PCI comporte différents objets : le parcellaire (parcelles, numéros de parcelles, signes de mitoyenneté, etc.), le bâti et certains détails topographiques (cimetières, voies ferrées, etc.). Les fichiers fonciers sont les fichiers bruts numériques extraits une fois par an (au 1^{er} janvier de l'année) de la base MAJIC. Ils comportent plusieurs tables : propriétaires (identification des personnes redevables ou exonérées des différentes taxes), propriétés bâties (informations sur l'identification et l'évaluation des locaux), propriétés non bâties (informations relatives aux parcelles, aux lots non bâtis, etc.). Cette base de données cadastrale est structurée par entités (parcelles, local, lot, personne, etc.) liées entre elles par des liens hiérarchiques (entre section et feuilles) et fonctionnels (entre parcelles et personnes). Ces fichiers peuvent être géoréférencés, car ils sont rattachés par un identifiant unique aux parcelles cadastrales. Leur contenu peut donc être exploité pour reconstituer, à l'échelle de la parcelle, l'évolution de l'urbanisation.

Une première limite de ces données réside dans leur caractère déclaratif. Elles sont très rarement contrôlées et mises à jour, aussi des écarts sont-ils possibles entre la valeur renseignée et l'état réel du bâti observé (par exemple pour le nombre de niveaux, les surfaces habitables, etc.). Par ailleurs, le taux de renseignement fluctue selon les variables et selon l'ancienneté de la date de construction (Geniaux *et al.*, 2009). Malgré ces limites, la matrice cadastrale est tenue à jour de manière régulière, car elle sert de référence en matière d'imposition foncière. En revanche, un délai s'observe entre la transmission des permis de construire, et l'intégration effective des bâtiments dans le PCI. À cause de ce décalage, qui peut être constaté entre le plan cadastral, l'orthophotographie et le terrain, les données cadastrales ne sont considérées comme stabilisées qu'au bout de 5 ans (CERTU, 2006). De plus, la donnée rendue disponible par le Cerema, bien que très documentée, n'est pas structurée sous forme d'une base de données relationnelle, ce qui peut imposer à l'utilisateur de générer les tables de correspondances requises (Casanova Enault *et al.*, 2019). D'un point de vue géométrique, des problèmes de précision s'observent dans le positionnement des éléments bâtis au sein du parcellaire. Enfin, la consultation de ces données peut devoir faire l'objet d'une autorisation de la CNIL, lorsque les fichiers exploités ne sont pas anonymisés.

Malgré ces limites, les données cadastrales offrent la possibilité de restituer finement, à l'échelle de la parcelle, les dynamiques foncières. De plus, leur mode de collecte étant standardisé au plan national, elles permettent les comparaisons entre territoires, et leur agrégation permet de travailler à des échelles variées (Fasquel, 2012).

Autres sources de données à grande échelle

Toujours grâce à la dynamique récente de libéralisation des données spatiales, d'autres sources de données peuvent être mobilisées pour restituer, comprendre et modéliser les changements d'occupation et d'usage du littoral. Ne sont mentionnées ici que les principales sources de données vectorielles communément mobilisées dans les recherches sur l'occupation du littoral dont nous avons connaissance.

Créée en 2007, la plateforme CARMEN³³ vise à répondre aux exigences de la directive INSPIRE en termes de diffusion des données géographiques environnementales publiques. Elle permet la publication des données des services de l'État (DREAL/DEAL/DRIEE), du SINP (système d'information pour la nature et les paysages), des agences de l'eau et de l'ONEMA (SIE : système d'information sur l'eau) et de certains EPIC (BRGM, ADEME, etc.)³⁴. En particulier, l'ensemble des zonages environnementaux utiles pour délimiter les niveaux de protection et de constructibilité des territoires souvent associés aux modélisations des changements d'occupation et d'usage du sol (Geniaux et Napoléone, 2011 ; Mimet *et al.*, 2013 ; Vimal *et al.*, 2012) y sont accessibles par téléchargement ou par flux OGC.

« *Le registre parcellaire graphique est une base de données géographiques servant de référence à l'instruction des aides de la Politique agricole commune* »³⁵. Administré par l'Agence de services et de paiement (ASP), mis à jour par l'IGN, et accessible par le Géoportail, le RPG répertorie neuf millions de parcelles agricoles déclarées chaque année par les agriculteurs français³⁶. Ce référentiel à l'échelle du 1/5 000 permet notamment de différencier les types de culture, les prairies temporaires et permanentes par parcelle agricole sur l'ensemble du territoire français (Mayotte exceptée). Le Géoportail permet d'accéder aux données anonymisées du RPG des années 2007 à 2018. Il s'agit donc d'une source essentielle pour restituer l'évolution spatiotemporelle de l'occupation des terres agricoles. Sa principale limite réside dans la sous-estimation des surfaces agricoles : par son caractère déclaratif lié à la PAC, elle omet par exemple les activités agricoles non professionnelles, ainsi que les activités maraîchères qui bénéficient peu des subventions agricoles. Le biais induit peut cependant être évalué par commune à l'aide des données du recensement agricole réalisé tous les 10 ans depuis 1970 par le ministère de l'Agriculture et diffusées par le serveur AGRESTE³⁷.

Les données de recensement de la population permettent de remonter jusqu'aux années 1960, à l'échelle de la commune, et couvrent de nombreuses variables démographiques, sociales et économiques. Disponibles sous forme numérique, elles fournissent une vision à l'échelle communale communément employée pour restituer les dynamiques migratoires à l'origine des processus de littoralisation (Chamseddine et Dupont, 2013 ; Liziard, 2013). La mise à disposition récente de données de granularité plus fine, par mailles de 200 m, permet désormais d'effectuer des analyses d'échelle infracommunale. Ces données sont établies à partir des Revenus fiscaux localisés, c'est-à-dire des fichiers des déclarations de revenus fournis à l'Insee par la Direction générale des impôts³⁸. La base de données produite comprend 18 variables sur la structure par âge des individus, les caractéristiques des ménages (locataire/propriétaire, etc.) et les revenus. Deux jeux de données sont disponibles (2010 et 2016), ce qui rend possible l'analyse des dynamiques locales (Colas, 2017). Outre les limites

³³ Cartographie du Ministère de l'Environnement, <http://carmen.naturefrance.fr/>

³⁴ <https://www.brgm.fr/projet/carmen-cartographie-francaise-environnement-clic>

³⁵ <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/registre-parcellaire-graphique-rpg-contours-des-parcelles-et-ilots-cultureaux-et-leur-groupe-de-cultures-majoritaire/>

³⁶ <https://www.geoportail.gouv.fr/actualites/les-usages-du-registre-parcellaire-graphique>

³⁷ <https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/>

³⁸ <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2520034#documentation>

classiques inhérentes au recensement par foyers fiscaux (personnes non recensées, car sans domicile, membres d'une collectivité, étudiants rattachés au domicile de leurs parents, variations de la notion de résidence principale), la principale limite de ces données provient du secret statistique auquel elles sont soumises : à l'exception du nombre total d'individus, aucune information n'est en effet fournie pour les mailles comportant moins de 11 ménages. Dans ce cas, les données sont agrégées dans des rectangles de dimension supérieure. Par ailleurs, dans le même objectif de respect de la confidentialité, les revenus fiscaux des ménages sont écrêtés de leurs valeurs extrêmes (*windsorisation*). L'exploitation à l'échelle locale de cette donnée est donc soumise à certaines procédures méthodologiques et quelques réserves dans l'interprétation des analyses.

Tableau 2.1 : Information géographique de référence en lien avec l'occupation du sol

Couche	Couverture Échelle Résolution	Millésimes	Contenu	Source
CLC - CORINE Land Cover	Europe 1/100 000 UMC : 25 ha	1990-2000- 2006-2012- 2018	Occupation du sol, 44 classes	Photo-interprétation d'images satellitaires https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/corine-land-cover-0
IPLI - Inventaire permanent du littoral	Littoral France métropolitaine 1/25 000	1977 1982 (localement)	Occupation du sol, 29 classes	Photographies aériennes http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/occupation-du-sol-r6.html
Litto-MOS	Littoral France 1/25 000	2000-2006	Occupation du sol, 44 classes	Photographies aériennes http://www.geolittoral.developpement-durable.gouv.fr/presentation-r219.html
Theia-Land	France Résolution 10 m	2009, 2010, 2011 et 2014 (Landsat) 2018-2019 (Sentinel)	Occupation du sol, 23 classes	Traitement automatique d'images Sentinel-2A et 2B https://www.theia-land.fr/product/carte-doccupation-des-sols-de-la-france-metropolitaine/
BDTopo IGN	France 1/10 000	Actualisation annuelle depuis 2000	Bâti, réseau routier, végétation	Orthophotographie https://geoservices.ign.fr/
Cadastre	France métropolitaine 1/1 000 Parcelle foncière	Actualisation annuelle	Plan cadastral informatisé (PCI) + Fichiers fonciers (MAJIC)	Direction générale des Finances publiques (DGFIP) https://datafoncier.cerema.fr/donnees/fichiers-fonciers
RPG - Registre parcellaire graphique	France 1/5 000	Actualisation annuelle depuis 2007	Types de cultures	Déclarations individuelles PAC https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/registre-parcellaire-graphique-rpg-contours-des-parcelles-et-ilots-cultureaux-et-leur-groupe-de-cultures-majoritaire/

2.3. Les changements d'occupation et usage du littoral métropolitain au prisme de la géographie

Comment les travaux de géographie s'inscrivent-ils dans le cadre scientifique dédié aux changements d'occupation et d'usage du littoral ? Un tour d'horizon non exhaustif des travaux récents montre qu'au-delà de la restitution de leurs formes et de leurs conséquences, la recherche en géographie se consacre désormais de plus en plus à l'analyse multiscale et

multisources des processus de changements et de leurs facteurs déterminants (Voiron-Canicio *et al.*, 2016). Par des approches cartographiques et quantitatives, ainsi que par la modélisation spatiotemporelle, elle apporte une contribution à la fois méthodologique et thématique à la compréhension des processus affectant l'occupation du littoral, qu'ils soient démographiques (flux migratoires permanents ou temporaires), fonctionnels (périurbanisation, ségrégations sociospatiales) ou structurels (enjeux fonciers, effets de la réglementation), tout en démontrant certaines de leurs particularités littorales : littoralisation, saturation foncière, risques côtiers.

2.3.1. Affiner la cartographie de l'occupation du sol

Longtemps, les diagnostics se sont fondés sur les seuls référentiels d'occupation du sol disponibles : CORINE Land Cover et l'Inventaire permanent du littoral. C'est sur ces bases qu'ont été établis les constats dressés par l'Observatoire national de la mer et du littoral au sein du SOeS (Colas, 2011 ; Pageaud, 2011), largement diffusés au sein des ministères (CGDD) et de la plupart des institutions publiques (BRGM, 2012 ; EEA, 2006a ; Préfecture de la Loire-Atlantique, 2012 ; Salman *et al.*, 2004).

Mais les limites de ces référentiels sont également connues (Bousquet *et al.*, 2013 ; Robert, 2016), notamment pour analyser les espaces littoraux où l'occupation du sol est à la fois fragmentée et très dynamique. CLC ne décrit pas les entités de moins de 25 ha, tandis que l'IPLI n'identifie le bâti isolé que par des points, ce qui ne permet pas de quantifier les superficies qu'il occupe, ni d'analyser les processus de mitage et de fragmentation des espaces naturels et agricoles côtiers qui en découlent. Par ailleurs, l'IPLI ne couvre que la bande côtière, ce qui ne permet pas l'analyse des phénomènes de report de l'urbanisation vers la zone rétrolittorale. Outre la précision spatiale se pose la question de la granularité temporelle de ces données dont les méthodes de production, par interprétation de photographies aériennes ou d'images satellitaires, compliquent leur mise à jour. Une autre limite de ces données est sémantique. Elle provient de l'imprécision de leurs nomenclatures (qui s'exprime par exemple à travers la catégorie floue d'« espace en mutation » de l'IPLI) et des variations qu'elles présentent d'un référentiel à l'autre (la nomenclature de l'IPLI77 diffère de celle de l'IPLI2000 par exemple), qui compliquent quelque peu les analyses diachroniques. Ces conditions expliquent que divers travaux de recherche en géographie se soient consacrés à l'amélioration de la donnée sur l'occupation du littoral.

Une expérimentation de cartographie diachronique de l'urbanisation du littoral a ainsi été entreprise par Samuel Robert dans quatre communes de la Côte Bleue entre 1998 et 2011. En conservant une méthode de photo-interprétation, et en reprenant une méthodologie développée au sein du CRIGE-PACA, il s'est attaché à produire une donnée à grande échelle (Robert, 2016). La cartographie repose sur la typologie CLC déclinée en un quatrième niveau comportant 96 postes, dont 44 relatifs aux seuls espaces artificialisés. Elle a été produite pour quatre dates (1998, 2003, 2008 et 2011), et les transitions entre classes d'occupation du sol ont permis de restituer finement les évolutions des espaces urbains, que ce soit par étalement ou par densification. De fait, les résultats montrent l'importance des processus de renouvellement dans l'évolution de l'urbanisation des communes étudiées. L'étalement urbain y apparaît deux fois moindre que les recompositions, que ce soit par densification (comblement d'espaces

vacants, recul du bâti individuel lâche) ou bien par réaffectation d'espaces industriels et réhabilitation de carrières. Ces tendances découlent de la faible disponibilité foncière engendrée à la fois par l'extension réduite des espaces agricoles et, à l'inverse, de l'importance locale des espaces naturels protégés (par le Conservatoire du littoral notamment). Ce type d'évolution, à base de recomposition et de densification urbaine reposant sur la prépondérance du bâti individuel est particulièrement ardue à mettre en évidence sans le recours à la grande échelle (Bousquet *et al.*, 2013). L'étude démontre ainsi tout l'intérêt de l'analyse fine de l'occupation du sol, notamment en contexte urbain et périurbain. Mais, en dépit de son cadre méthodologique rigoureux, elle montre également les limites inhérentes à la cartographie par photo-interprétation (fort investissement de travail, caractère subjectif de l'interprétation requérant des vérifications sur le terrain) qui en restreignent l'application à des terrains d'étendue limitée.

Demandant une forte expertise, relativement longue et onéreuse à mettre en place, la photo-interprétation reste toutefois une solution souple et très pertinente pour répondre à une demande croissante de cartographie à façon, notamment par les collectivités territoriales. C'est pourquoi, dans le cadre de sa thèse sur la cartographie de l'occupation du sol à grande échelle, Maxime Vitter (2018) s'est attaché à optimiser la photo-interprétation assistée par ordinateur pour la cartographie de l'occupation du sol à grande échelle. Sa méthode repose sur une segmentation d'image à très haute résolution spatiale, qui apporte un prédécoupage du paysage facilitant l'exercice de la photo-interprétation. Par rapport à la numérisation sans assistance effectuée par un photo-interprète, le protocole développé permet un gain de productivité de 35 %. Il réduit les manipulations de numérisation en produisant des délimitations homogènes proposant un premier découpage de l'image qui diminue la subjectivité du travail du photo-interprète. Il permet ainsi de focaliser l'attention sur l'interprétation de l'image plutôt que sur la numérisation (Vitter, 2018).

L'offre d'images satellitaires à très haute résolution spatiale et spectrale (WorldView, GeoEye, Pleiades, Sentinel) apporte également d'intéressantes perspectives pour restituer finement des états de surface avec une répétitivité pluriannuelle, d'autant que les méthodes d'analyse ont également évolué en parallèle, pour compléter les classifications spectrales classiques par des méthodes orientées-objet. Par exemple, James et al. (2020) ont démontré la pertinence des images Pleiades pour restituer précisément des états de surface avec une très haute résolution spatiale submétrique. L'utilisation de méthodes de fusion de données topographiques et multispectrales extraites d'un couple d'images stéréo captée au-dessus de la côte d'Émeraude leur a permis de produire une classification supervisée avec une exactitude globale (*overall accuracy*) proche de 100 % (93,55 %), avec des temps de calcul très courts (quelques minutes) pour une extension spatiale d'environ 80 km². Mais la typologie ainsi produite reste très générique (sol, eau, herbe, arbres, toits, etc.). Et même si les auteurs estiment que des classes affinées pourraient être obtenues par des méthodes plus élaborées – classifications orientées-objet appliquées à une analyse multispectrale de différents indices (rugosité, pente, indice de végétation) – elles ressortent davantage d'états de surface, que d'usage du sol.

Pour parvenir à décrire les usages du sol, des données thématiques complémentaires sont nécessaires. Plusieurs référentiels d'information géographique sont désormais mobilisés pour

la recherche, pour analyser les facteurs déterminant les usages du sol et leur évolution, ainsi que certains de leurs effets sociospatiaux.

2.3.2. La littoralisation au cœur des dynamiques d'usage du littoral

Dans la continuité des évolutions sociétales amorcées dans l'après-guerre, l'élévation des revenus, l'accroissement de la mobilité et du temps libre, l'attractivité du littoral tend à se renforcer en ce début de XXI^e siècle (Béoutis *et al.*, 2009 ; Liziard, 2013 ; Vye, 2011). La littoralisation, c'est-à-dire l'attraction exercée par le littoral sur la population, constitue l'un des principaux facteurs des changements d'occupation du sol.

Sur le littoral métropolitain, la densité de population est ainsi 3 à 4 fois plus forte que dans l'intérieur (466 hab./km² contre 112 en moyenne nationale). Un huitième de la population métropolitaine vit à moins de 500 m des côtes, et la densité des résidences principales y est 4 fois supérieure à la moyenne hexagonale. En revanche, le nombre de personnes par ménage y est 2,3 fois moins élevé qu'en moyenne nationale, chiffre qui s'accorde avec la place occupée par les retraités : plus du quart (27%) des habitants permanents du littoral ont plus de 65 ans (contre 17% au niveau national). Dans le même temps, la part des enfants de moins de 10 ans y est moitié moins élevée que dans l'arrière-pays (Colas, 2017). Au-delà de ces données générales, qui peuvent être déclinées à différentes échelles (par bandes côtières, ou par échelons administratifs), les analyses géographiques permettent de démontrer la matérialité spatiale de ces processus et leurs séquences temporelles. L'analyse spatiale du processus de littoralisation s'effectue notamment à partir des données du recensement de la population. Elles permettent d'en restituer à la fois les structures (polarités) et les processus de diffusion spatiale et temporelle, qui peuvent servir de base à des classifications des territoires littoraux.

À partir d'une base de données démographiques d'échelle communale et départementale, et d'un découpage du littoral en bandes de 10 km de large, Sophie Liziard parvient ainsi à montrer que la majeure partie des littoraux français, mais également italiens et espagnols, s'inscrivent dans un processus de littoralisation en plusieurs étapes (Liziard, 2013). Dans un premier temps, la concentration de la population s'effectue dans les communes littorales au détriment de celles de l'intérieur, en déclin. Dans un second temps, le processus se poursuit par un report de la dynamique littorale vers le proche arrière-pays. La région PACA, où la concentration de la population sur le littoral atteignait dès les années 1960 des taux très élevés (jusqu'à 89 % de la population résidait déjà dans les communes littorales dans les Alpes-Maritimes), connaît ainsi depuis les années 1970 un renversement des flux en faveur du proche arrière-pays (10-20 km), même si le poids relatif de la bande littorale (0-10 km) reste élevé. Dans les départements du Languedoc-Roussillon en revanche, la part de la population littorale est relativement faible (entre 10 et 30 %), car elle se concentre plutôt dans la bande arrière-littorale de 10 à 30 km. En analysant les taux de croissance de population à l'échelle communale, cette recherche met aussi en évidence des trajectoires plus complexes combinant plusieurs dynamiques de diffusion de la population. L'Aude fournit un exemple de schéma classique, parallèle au littoral, où la littoralisation s'établit à partir de plusieurs petits pôles. La diffusion latérale des taux de croissance peut conduire soit à la création de nouveaux pôles (observée en Italie, mais pas en France), soit à la formation de conurbations littorales (cas du

Var où le renforcement du processus de littoralisation intervient après une phase de croissance intérieure), tandis que l'existence de franges de fortes concentrations littorales ou d'une ville importante se traduit plutôt par une diffusion vers l'arrière-pays, que ce soit sous forme concentrique (Valence et Naples) ou de bandes continues comme dans le cas des Pyrénées-Orientales et des Alpes-Maritimes. Le foyer initial de peuplement peut alors maintenir son taux de croissance, ou se ralentir comme observé dans de nombreuses provinces italiennes. Dans ces conditions, des séquences de ruptures et de reprises peuvent se matérialiser, traduisant une littoralisation partielle, comme dans le cas de la Corse, où elle est organisée plutôt perpendiculairement au rivage, ou bien de l'Hérault dans lequel l'organisation parallèle au rivage se complexifie. Certains territoires, comme le Gard ou les Bouches-du-Rhône, témoignent d'une absence de littoralisation, les dynamiques s'y effectuant uniquement à l'intérieur des terres. À partir des seules données démographiques, cette recherche restitue ainsi le processus de littoralisation aux abords de la Méditerranée tout en matérialisant ses différents stades. Les mêmes données permettent d'analyser les conséquences sociospatiales de ces processus.

Didier Vye (2011) analyse les formes différenciées d'attractivité résidentielle du littoral français à plusieurs échelles, de la façade littorale à l'aire urbaine, à partir de l'exploitation diachronique des données du recensement de la population. Les façades maritimes « répulsives » (Manche, mer du Nord) se distinguent ainsi des façades attractives, entre lesquelles une réorientation des flux migratoires s'observe entre 1982 et 2008 au profit de la façade atlantique, qui attirait auparavant deux fois moins de population que la méditerranéenne. Certains départements ont ainsi vu leur croissance annuelle doubler (Pyrénées-Atlantiques, Finistère), voire quadrupler (Côtes-d'Armor). À l'échelle des aires urbaines, les niveaux d'attraction apparaissent systématiquement supérieurs sur le littoral que dans les grandes villes de l'intérieur. Les villes dont l'attraction est à la fois la plus forte et la plus prolongée, sont les stations touristiques (*villes-stations* par exemple Perpignan, Sète, Les Sables-d'Olonne, Royan, Hendaye). Dotées d'un taux de résidences secondaires très élevé, l'emploi y repose sur l'économie résidentielle. Mais, l'attraction qu'elles exercent sur les retraités, ainsi que le développement des mobilités au sein des aires urbaines métropolitaines auxquelles elles appartiennent (par exemple La Baule dans l'aire urbaine de Saint-Nazaire), les fait évoluer progressivement de lieux touristiques vers des lieux de vie. Il s'agit donc de lieux en transition « résidentielle », dans lesquels se posent de nouvelles et spécifiques problématiques d'aménagement et d'équipement à destination d'une population de plus en plus âgée (Ghekière et Houillon, 2013). Une seconde catégorie remarquable d'aire urbaine regroupe des villes moyennes attractives par leur cadre de vie et certains attributs métropolitains, notamment culturels et universitaires. Ces « *mésopoles littorales* » – au sein desquelles on trouve par exemple Vannes, La Rochelle ou Bayonne – connaissent une forte croissance récente de leur nombre de logements, qu'il s'agisse de résidences principales ou secondaires (fig. 2.6). Leur aire d'attraction s'établit à l'échelle nationale attirant des populations elles-mêmes métropolitaines. En découle cependant un certain nombre de tensions sociospatiales typiquement métropolitaines, telles que la périurbanisation et la relégation vers l'arrière-pays subies par les résidents aux revenus les plus modestes, tandis que le littoral tend à s'embourgeoiser du fait de l'inflation immobilière provoquée par l'arrivée

d'une population aux revenus relativement élevés. Enfin, une troisième catégorie rassemble les villes moyennes portuaires (Lorient, Saint-Nazaire) qui peinent à sortir d'une longue phase de crise économique et migratoire, mais connaissent un regain d'attraction reposant sur des flux migratoires de proximité selon des profils socioprofessionnels variés s'accordant avec celui, multifonctionnel, des villes d'accueil (Vye, 2011).



Figure 2.6 : L'urbanisation littorale à Arzon commune du Golfe du Morbihan où le pourcentage de résidences secondaires atteint les 80 % (source : E. Le Cornec, GEOS AEL, sept. 2011)

Une recherche menée sur le segment âgé (les plus de 60 ans) de la population confirme cette attractivité différenciée des communes littorales (Ghekière et Houillon, 2013). Toutes apparaissent structurellement vieillies, à l'exception des communes urbaines qui présentent une « indifférence littorale » due à leur multifonctionnalité. Néanmoins, si le vieillissement des littoraux faiblement attractifs s'effectue généralement sur place, par la population installée, le balnéotropisme apparaît comme déterminant sur les littoraux ayant la plus forte attractivité touristique, de rayonnement régional à national (côte méditerranéenne surtout). D'après les auteurs, cela constitue un défi à long terme pour les territoires littoraux qui vont devoir gérer une augmentation de la croissance de cette population âgée « sous le double effet de la montée en âge des générations pleines et de l'augmentation de l'espérance de vie ». En marquant le passage d'un espace littoral productif à un espace résidentiel (Le Délézir, 2008), ce type d'évolution est susceptible à long terme de freiner voire réorienter les flux migratoires, du fait de l'augmentation de la pression foncière et des tarifs de l'immobilier.

En Bretagne, Gilles Poupard (2017) observe en effet que la croissance de la population littorale a subi un coup d'arrêt, passant de +0,6 % à +0,1 % par an entre les périodes 1999-2007 et 2007-

2012. Cette tendance affecte les quatre départements bretons et tout particulièrement les communes de plus de 10 000 habitants. La croissance démographique est désormais plus forte dans les terres que sur le littoral : +32 % contre +13 %, pour une moyenne régionale de +25,5 %, tendance qui s'observe même en ne prenant pas en compte l'aire urbaine rennaise. Selon l'auteur, cet essoufflement démographique tient à plusieurs facteurs, qu'ils soient généraux – saturation du foncier destiné à l'expansion urbaine, effet des lotissements sur les cycles démographiques (Léger, 2012)³⁹ – ou bien spécifiques au littoral : application plus stricte de la loi Littoral, poids grandissant des résidences secondaires (bien qu'en net ralentissement), prix dissuasif de l'immobilier littoral pour les jeunes ménages et les familles, vieillissement de la population (Poupard, 2017).

Mais cette évolution régionale ne remet pas en cause le processus de littoralisation. Bien au contraire, elle s'inscrit pleinement dans les séquences mises en évidence sur les régions méditerranéennes (Lizard, 2013), bien qu'avec un certain décalage temporel. Quelles sont les conséquences spatiales et sociales de l'arrivée massive dans les territoires littoraux de populations exogènes, aux revenus et aux profils socioprofessionnels souvent différents de ceux de la population locale ? Sont-elles spécifiques au littoral ? Ou bien constituent-elles un simple prolongement des dynamiques urbaines auxquelles elles sont reliées par la mobilité ? Outre les données démographiques, c'est à partir des données foncières récemment rendues disponibles pour la recherche que plusieurs autres travaux se sont emparés de ces questions.

2.3.3. Le foncier comme indicateur des mutations sociospatiales du littoral

En s'appuyant sur plusieurs sources de données statistiques sur les transactions immobilières et foncières (Perval, Déclarations d'intention d'aliéner communales et Safer), Clotilde Buhot (2009) analyse les processus de précarisation et d'embourgeoisement au sein d'une aire à la fois urbaine, balnéaire et touristique : celle de La Rochelle. À partir d'un échantillon de quatre communes-test, elle observe ainsi que la production d'un espace de loisir par les résidents de l'île de Ré se traduit par une véritable scission avec les espaces multifonctionnels urbains de La Rochelle et *a fortiori* avec ses espaces périurbains rétrolittoraux. L'effet littoral s'y manifeste à travers plusieurs indicateurs dont les valeurs s'organisent selon un gradient de l'intérieur vers le littoral : part des résidences secondaires (de 25 à plus de 75 %), écarts des prix notamment entre résidences principales et secondaires (de 9 % dans l'intérieur à 200 % à l'île de Ré), structure socioprofessionnelle de la population, plus populaire en zone rétrolittorale, plus aisée sur le littoral. À la logique centre-périphérie classique, vient donc s'ajouter la dynamique de valorisation touristique et balnéaire, qui conduit d'une part à la concentration de populations aisées sur le littoral (surtout à l'île de Ré) et, d'autre part, à la relégation des classes populaires et moyennes vers des périphéries de plus en plus lointaines, jusqu'à 50 km vers l'intérieur. Ces processus aboutissent à une augmentation de l'urbanisation diffuse dans

³⁹ La construction de lotissements se traduit dans un premier temps par l'augmentation de la population, mais dans une même catégorie d'âge. Le départ des enfants également de la même cohorte, risque donc de s'effectuer simultanément, faisant diminuer la population. Dans un troisième temps le vieillissement des primo-occupants fait évoluer la demande de services des communes concernées...

les cantons de l'intérieur et à celle des migrations pendulaires alternantes avec l'est et le sud de La Rochelle (Buhot, 2009).

Étendant ce type d'approche à partir de la géolocalisation et de l'analyse statistique d'un jeu de 30 000 transactions issues de la base de données Perval, Michaël Bermon et Maxime Marie (2016) restituent les différenciations sociospatiales produites par le jeu des migrations résidentielles et du fonctionnement concurrentiel du marché dans l'aire urbaine de Caen entre 2000 et 2008, en considérant notamment son littoral. Ils parviennent à distinguer quatre types principaux de flux résidentiels : les flux internes à la couronne périurbaine de Caen (un quart des transactions), les migrations depuis Caen vers une commune périphérique (20,6 %), les migrations résidentielles internes au pôle urbain (16,3 % des transactions) et les installations dans les communes aux marges de l'aire urbaine, dont un tiers est dû à des acquéreurs en provenance d'un pôle urbain (caennais surtout). En définitive, 17 % des transactions seulement ont été réalisées par des acquéreurs originaires d'une autre région française ou de l'étranger. Ce marché immobilier provoque surtout la relégation des ménages aux revenus les plus précaires dans les franges périphériques de l'aire urbaine, en particulier dans les espaces ruraux « ordinaires » à faible notoriété, ou bien dans la partie orientale de l'agglomération caennaise, lieu de concentration historique des activités industrielles. Les catégories aux revenus les plus élevés peuvent en revanche maintenir leur position dans les couronnes centrales et péri-centrales, ainsi qu'au nord et au nord-ouest de Caen. Cette distribution géographique de la population témoigne également de la prise en compte par les ménages des effets de quartiers engendrés par la composition sociale du voisinage et aboutit à une ségrégation par les hauts revenus (« effet de club » décrit par Charmes, 2007a). À cette structuration concentrique autour de l'agglomération de Caen, et en dehors de la polarisation exercée par les pôles urbains intermédiaires (Bayeux, Lisieux, Falaise ou Vire) s'ajoute un effet littoral indiscutable. La côte de Nacre et du Bessin regroupe un nombre important de transactions profitant surtout aux retraités, et réparties de manière diffuse, tandis que les transactions concentrées autour des stations balnéaires (Cabourg, Deauville, etc.) de la côte Fleurie émanent davantage d'acheteurs aisés en provenance d'Île-de-France ou bien d'autres régions métropolitaines (Bermond et Marie, 2016).

Gentrification, relégation et périurbanisation, les mutations sociospatiales qui découlent des flux migratoires différenciés vers le littoral se traduisent bien par des processus traditionnellement rattachés à la ville (Donzelot, 2009). Cependant, les travaux présentés montrent également un certain « effet littoral », détectable par le profil sociodémographique particulier des nouveaux arrivants (âge, part des retraités, revenu). Ce ne sont en effet pas les mêmes facteurs qui favorisent les migrations vers les espaces littoraux, que vers les espaces urbains. Les premiers sont convoités pour leurs aménités environnementales (accès et vue sur mer..., fig. 2.7), les seconds pour l'accessibilité qu'ils procurent à l'emploi et aux services. Ces motivations diverses apparaissent bien matérialisées par la structure démographique et sociale de la population des communes littorales. De fait, les analyses menées au plan national par le SOeS (Colas, 2017) à partir des données carroyées de l'INSEE, confirment cette scission entre un avant-pays littoral au profil sociodémographique urbain (forte densité de population, importante capacité d'accueil touristique, forte part des personnes âgées, faible taille des

ménages) et un arrière-pays au profil périurbain (ménages avec enfants, faible part des personnes âgées). Quelle traduction ces évolutions trouvent-elles sur l'occupation du sol et le marché foncier ? N'aboutissent-elles pas à des formes de saturation du littoral ?



Figure 2.7 : Chacun sa vue sur mer ! Urbanisation diffuse à Kerlouan dans le Nord Finistère, le long de la mer, le long de la route et devant les champs d'échalottes (source : LETG-Nautisme en Finistère, juillet 2006).

2.3.4. De la pression foncière à la saturation du littoral ?

L'information géographique nouvellement accessible, notamment les données foncières, sont mises à profit pour analyser la structuration sociospatiale des territoires, et estimer la contribution de ses déterminants structurels et conjoncturels (CEREMA, 2018).

En premier lieu, les données foncières permettent d'affiner les estimations de changements d'occupation du sol. Constatant la disparité des estimations produites à partir des principales sources de données utilisées (CLC et Teruti-Lucas)⁴⁰, Martin Bocquet et Jean Cavailhès ont exploité les données fiscales de la DGFIP pour produire un diagnostic national de la « conversion urbaine de terres non bâties » et de ses déterminants spatiaux (Bocquet et Cavailhès, 2020). Leur méthode repose sur une modélisation économétrique intégrant la somme des superficies nouvellement bâties par commune et ses déterminants exprimés par plusieurs variables : population communale, PIB par habitant, proximité du littoral,

⁴⁰ Dont les évaluations s'établissaient jusqu'alors entre 16 000 et 80 000 ha/an selon les sources...

communes de montagne, navettes domicile-travail, existence de documents d'urbanisme, etc. Cette analyse permet un ajustement des évaluations quantitatives de consommation de terres par l'urbanisation qui s'établit ainsi entre 20 000 et 30 000 ha selon les années. Elle démontre et confirme le poids des phénomènes de métropolisation et de périurbanisation ainsi que l'influence des aménités environnementales (mer, montagne, climat) dans cette conversion urbaine. La construction se polarise dans les plus grandes zones urbaines, en lien avec la concentration des activités économiques, et surtout dans leurs périphéries. Le littoral occupe une place prééminente, car le taux de conversion y est de 70 % supérieur à celui des autres communes et, car ce taux s'affiche encore à 26 % dans la zone arrière-littorale, témoignant ainsi de l'attractivité du littoral malgré les politiques de protection qui y sont appliquées.

Déclinée à l'échelle régionale, l'exploitation des données foncières permet d'analyser plus précisément la pression exercée par l'urbanisation résidentielle sur les littoraux. En agrégeant à l'échelle communale les données des Services des domaines sur les transactions des terrains à bâtir, Laure Casanova et Cécile Helle (2012) se sont attachées à explorer les dynamiques résidentielles entre 1999 et 2006 dans la région PACA. Elles ont identifié trois catégories de transactions foncières – courantes, extrêmes par le prix ou extrême par la taille des terrains – dont elles ont décrit l'organisation spatiale. Les transactions courantes traduisent l'intensité de l'activité foncière et matérialisent des logiques dominantes d'urbanisation et de périurbanisation qui affectent les principales agglomérations (Marseille-Aix), ainsi que le mitage des espaces ruraux de l'arrière-pays par la construction résidentielle. Le marché littoral, notamment celui de la Côte d'Azur, se distingue par des prix de vente extrêmes qui résultent d'une forte pression foncière et de la dynamique de valorisation par le tourisme et la villégiature de « hauts-lieux résidentiels ». Enfin, les transactions portant sur les terrains de grande dimension, révèlent plutôt l'attractivité nouvelle des communes rurales de l'arrière-pays qui deviennent le lieu de pratiques de villégiature et dans lesquelles la disponibilité foncière fonde un marché d'exception, sous forme d'habitat diffus. Les tendances ainsi démontrées témoignent de la pression foncière qui s'exerce sur certains espaces, notamment le littoral, et des processus de différenciation spatiale qu'elle engendre, entre embourgeoisement, périurbanisation et report d'une partie du marché vers l'arrière-pays. De plus, l'analyse rétrospective des changements affectant ce marché montre que les trajectoires foncières restent stables dans les territoires à fort développement résidentiel, comme les espaces métropolitains (Marseille-Aix) et le littoral. Ces trajectoires paraissent donc conduire effectivement vers une saturation du marché foncier (Casanova et Helle, 2012).

Dans ce contexte, il devient alors essentiel d'identifier les réserves foncières encore disponibles pour en optimiser l'usage. Dans l'optique d'identifier plus spécifiquement les gisements de terres agricoles dans les agglomérations de Toulon et de Saint-Tropez, les données foncières ont également été intégrées dans une base de données multisources décrivant les caractéristiques des terrains vacants : taille, morphologie, pente, usage, accessibilité, statut réglementaire (Casanova Enault *et al.*, 2021). Ces terrains ont ainsi pu être classés en fonction de leurs potentialités agricoles, selon divers scénarios basés sur les systèmes agricoles existants (productions, chaîne de distribution) et leur rentabilité économique (emploi, prix, extension de la SAU, etc.). Les résultats obtenus montrent que, bien que les terres vacantes représentent

entre un quart et un tiers des territoires analysés, seules 12 à 14 % d'entre elles pourraient faire l'objet d'une valorisation agricole. Encore faudrait-il qu'elles ne soient pas urbanisées à court terme, car l'analyse montre aussi que 60 % des espaces artificialisés entre 2006 et 2014 sont situés à proximité directe des parcelles vacantes ayant le meilleur potentiel agricole...

De fait, la disponibilité de données fines permet de définir leur niveau d'agrégation en fonction des échelles d'analyse envisagées. L'existence de données temporelles permet en outre de dégager des tendances pouvant être mobilisées dans des modélisations multiscalaires. Une combinaison d'approches inductives et déductives, à différentes échelles spatiales (de la parcelle foncière à l'échelle régionale) et temporelles (à la fois rétrospective et prospective) a ainsi été développée pour analyser les déterminants de l'urbanisation résidentielle sur le littoral des Bouches-du-Rhône et du Var (Voiron-Canicio *et al.*, 2016). À l'échelle régionale, les résultats montrent les effets de report depuis les communes urbaines et littorales vers leur voisinage immédiat ou selon plusieurs axes (est d'Aix-Marseille, sud-nord vers l'étang de Berre, littoral entre Marseille et Toulon). L'échelle intermédiaire permet de simuler les mécanismes de diffusion de la construction résidentielle, et ainsi d'identifier les espaces où l'occupation du sol présente des enjeux particuliers qu'ils soient liés à la diffusion du bâti (Aubagne), ou à l'évolution des terres agricoles (Saint-Maximin, Bandol). À l'échelle locale, l'approche vise à déduire des caractéristiques des parcelles construites entre 1999 et 2006, les aménités environnementales les plus recherchées par les habitants afin de cartographier les zones à forte probabilité d'urbanisation et de les confronter avec les dispositifs réglementaires d'urbanisme.

Ces travaux attestent que les dynamiques spatiales exacerbées que subissent les territoires littoraux méditerranéens semblent effectivement conduire à une certaine saturation physique (baisse de la disponibilité foncière sur des espaces par nature exigus), ou économique (augmentation des prix et insolvabilité des ménages). À travers différents indicateurs, démographie, occupation du sol, transactions foncières, ils tendent à montrer que l'occupation du littoral et en particulier l'urbanisation y sont ou y ont été peu ou mal contrôlés, limitant probablement les perspectives de nombre de ces territoires. Cette situation apparaît pourtant paradoxale, car les littoraux font l'objet d'une attention toute particulière des législateurs, marquée notamment par la multiplication et la densification des dispositifs réglementaires qui s'y appliquent, qu'ils soient ou non spécifiques au littoral.

2.3.5. Une réglementation inefficace face à l'urbanisation ?

L'influence du foncier serait-elle tellement structurante qu'elle en viendrait à réduire l'efficacité des dispositifs réglementaires et de planification urbaine mis en place pour contrôler les changements d'occupation du sol, en particulier face à l'urbanisation ? Évaluer l'effet de la réglementation repose d'une part sur la comparaison des changements d'occupation du sol dans, hors et à proximité des zones naturelles protégées, et d'autre part sur l'analyse de l'articulation entre les dispositifs réglementaires, environnementaux et urbanistiques, de même qu'avec les projets de territoire portés par les acteurs locaux.

Cette évaluation repose par conséquent sur le développement de bases de données multithématiques et éventuellement multiscalaires. La base UrbanSimul développée par

l'INRA pour simuler l'urbanisation à moyen terme dans la région PACA en constitue un exemple. Son objectif est de montrer les effets des orientations adoptées par les acteurs locaux, tout en évaluant l'incidence des politiques publiques sur les changements d'occupation du sol (Vimal *et al.*, 2012) et les valeurs foncières (Geniaux *et al.*, 2015). Reposant sur la nouvelle génération d'information géographique (cadastre, données foncières, zonages d'urbanisme, RGE IGN), elle permet de mettre en œuvre des méthodes de modélisation probabiliste en faisant varier les critères géographiques (distance au cœur de village, aux routes, etc.), les projections démographiques, et les projets de territoire (conservation des espaces naturels ou agricoles, seuils de densité du bâti, etc.).

Les analyses multiscalaires réalisées à partir de cette base de données démontrent notamment l'efficacité relative des zonages pour contrôler la croissance urbaine. Elle dépend en particulier du niveau d'inconstructibilité qu'ils imposent, selon qu'il s'agit de zonages stricts (arrêtés de biotope, réserves, zones centrales des parcs nationaux, etc.), souples (ZPS, ZSC, zones périphériques des parcs nationaux, etc.) ou de simples zonages de connaissance (ZNIEFF) (Geniaux et Napoléone, 2011). À l'échelon communal, la construction est plus faible et augmente moins vite dans les zones environnementales strictes que dans leur voisinage immédiat, ce qui en traduit l'effet de protection. En revanche, la croissance du nombre de logements est plus importante dans les communes dotées d'un zonage strict que dans les autres, traduisant l'effet attractif exercé par leurs aménités environnementales. En effet, à l'échelon infracommunal, la construction a été sensiblement freinée aux abords immédiats des zonages stricts, comparativement aux espaces naturels non strictement protégés. « *Cela conduit à avancer que les zonages environnementaux participent à l'émergence d'aménités contribuant à rendre attractive leur commune d'accueil, tout en maintenant un objectif de protection des milieux naturels et de densification urbaine* » (Geniaux et Napoléone, 2011).

Ces résultats sont confirmés par d'autres travaux portant plus spécifiquement sur les ZNIEFF, considérés par la législation française comme des sites à forte biodiversité. Une modélisation statistique de la conversion des terres dans et hors des périmètres de ZNIEFF à deux résolutions spatiales (communale et maille de 100 m), avec un horizon temporel de 20 ans montre en effet que l'urbanisation future pourrait impacter 35% du nombre des ZNIEFF de la région PACA (Vimal *et al.*, 2012). Si les sites à haute valeur environnementale apparaissent mieux protégés, ils sont généralement de petites dimensions, notamment sur le littoral. Les ZNIEFF subissent ainsi des menaces à la fois locales liées à la proximité immédiate des constructions, et régionales en raison de l'importante urbanisation des zones naturelles « banales » les entourant. Même si l'urbanisation est généralement moindre à l'intérieur qu'à l'extérieur de ces zonages environnementaux, leur effet dépend donc du contexte local. Un exemple éloigné du littoral, la région parisienne, le confirme. Les espaces naturels y apparaissent en effet mieux préservés en lien avec une planification urbaine soignée pour répondre à la demande sociale, notamment en termes d'aménités environnementales (Mimet *et al.*, 2013). En revanche en contexte rural, les taux d'urbanisation sont relativement plus élevés dans les ZNIEFF qu'en dehors. Selon les auteurs, cela témoigne de l'inégale (re)connaissance de la valeur des espaces naturels par les gestionnaires et les responsables de la planification urbaine : lorsque les terres agricoles sont prépondérantes, elles sont avant tout

considérées comme des réserves foncières ; lorsqu'elles sont rares, elles sont davantage protégées.

En définitive, si les zonages environnementaux stricts s'avèrent efficaces dans leur périmètre, l'efficacité des zonages plus souples dépend des projets de territoire transcrits dans les documents de planification spatiale (fig. 2.8). De fait, la protection apportée par ces réglementations locales est fragile et ne dépend que de la durée de vie des documents d'urbanisme, elle-même conditionnée par les opportunités du marché foncier. Dans ces conditions, les « zonages suivent le marché », car les prix élevés et les fortes probabilités de construction tendent à favoriser la mutation des zones non constructibles en zones constructibles dans les documents de planification spatiale (Geniaux et Napoléone, 2011).



Figure 2.8 : Même lorsque la planification urbaine existe, la marqueterie d'occupation du sol, imbriquant terres agricoles et bâti, comme ici dans la zone maraîchère du Léon à Roscoff, rend difficile l'application de la Loi Littorale (Deffontaine et Jean-Brunhes Delamarre, 1957)

Aurélié Prévost et Samuel Robert (2016) se sont d'ailleurs attachés à caractériser les pratiques de mise en œuvre des dispositifs de planification spatiale et de protection de l'environnement sur plusieurs territoires du littoral méditerranéen. Pour ce faire, ils ont entrepris de reconstituer la séquence de mise en place de ces outils depuis les années 1960, afin d'identifier des trajectoires de planification et de produire une classification des communes selon l'ancienneté et le caractère prescriptif de leur réglementation. Ils montrent ainsi que l'évolution de l'urbanisation a été mieux maîtrisée dans les territoires dotés depuis longtemps de documents d'urbanisme et couverts par les outils les plus récents, à l'exemple des communes de la Côte Bleue qui démontrent un caractère anticipateur et très respecté des politiques

nationales. À l'inverse, l'urbanisation semble plus permissive lorsque la planification tarde à être mise en place, comme dans certaines communes corses.

Cet usage très inégal des outils réglementaires sur le littoral témoigne à la fois : a) de la complexité et du caractère très évolutif de la législation sur l'urbanisation, qui la rendent difficile à mettre en œuvre par certaines collectivités ; b) de l'influence des enjeux locaux et des pressions diverses que font peser les acteurs économiques et les électeurs sur ces collectivités ; c) de différences de volonté et de capacité politique à formuler un projet de territoire en phase avec les engagements de niveaux national et international pour le développement durable. Ces trajectoires variées dans un cadre légal pourtant homogène amènent les auteurs à s'interroger sur l'absence d'un dispositif de planification spatiale réellement spécifique aux communes littorales, dans un contexte de décentralisation et d'accroissement du pouvoir des élus locaux (Prévost et Robert, 2016). On voit ici tout l'intérêt de parvenir à relier explicitement le processus d'urbanisation avec celui de mise en œuvre des dispositifs réglementaires et de planification spatiale. C'est une voie de recherche d'autant plus pertinente sur le littoral, qui subit une pression démographique et foncière importante, et où les protections environnementales sont particulièrement denses.

2.3.6. Adapter l'occupation du littoral aux risques côtiers

À partir du XIXe siècle, avec l'émergence du tourisme balnéaire, mais surtout depuis le milieu du XXe siècle, l'intensification de l'occupation du littoral se traduit par une exposition accrue des populations, des aménagements et des équipements aux aléas que constituent notamment l'érosion côtière et les submersions marines. Le fait que le trait de côte tende à reculer sous l'effet de ces processus naturels, tandis que les enjeux progressent vers la côte et s'y densifient, génère littéralement un espace de risque, à l'intersection entre aléas et enjeux (Meur-Ferec et Morel, 2004) (fig. 2.9). L'occupation du littoral constitue donc bien l'un des principaux facteurs de matérialisation du risque et constitue à ce titre un objet d'étude privilégié en géographie.

L'analyse des risques côtiers a longtemps été contrainte par une conception très centrée sur les aléas, inspirée des sciences de la Terre et de l'ingénieur (D'Ercole et Metzger, 2011 ; Morel *et al.*, 2006), ainsi que par la qualité des données disponibles. Elle a cependant bénéficié des avancées conceptuelles en lien avec les notions de développement durable et de Gestion intégrée des zones côtières, qui ont permis de replacer les sciences humaines au cœur de cette question éminemment sociétale que constitue le risque (D'Ercole et Pigeon, 1999). Au-delà de la probabilité d'atteinte des enjeux sociétaux par des aléas, ce sont bien les caractéristiques de ces enjeux, qu'elles soient individuelles, économiques, structurelles ou culturelles, qui génèrent une vulnérabilité différenciée. La vulnérabilité est donc à la fois sociale et spatiale. Aussi Robert d'Ercole et ses collaborateurs distinguent-ils trois démarches d'analyse de la vulnérabilité (D'Ercole *et al.*, 1994) : la démarche qualitative s'attache à identifier les enjeux exposés aux aléas, la démarche semi-quantitative vise à hiérarchiser les éléments exposés, tandis que la démarche quantitative cherche à mesurer des conséquences (part de ce qui peut être perdu, constat d'endommagement).

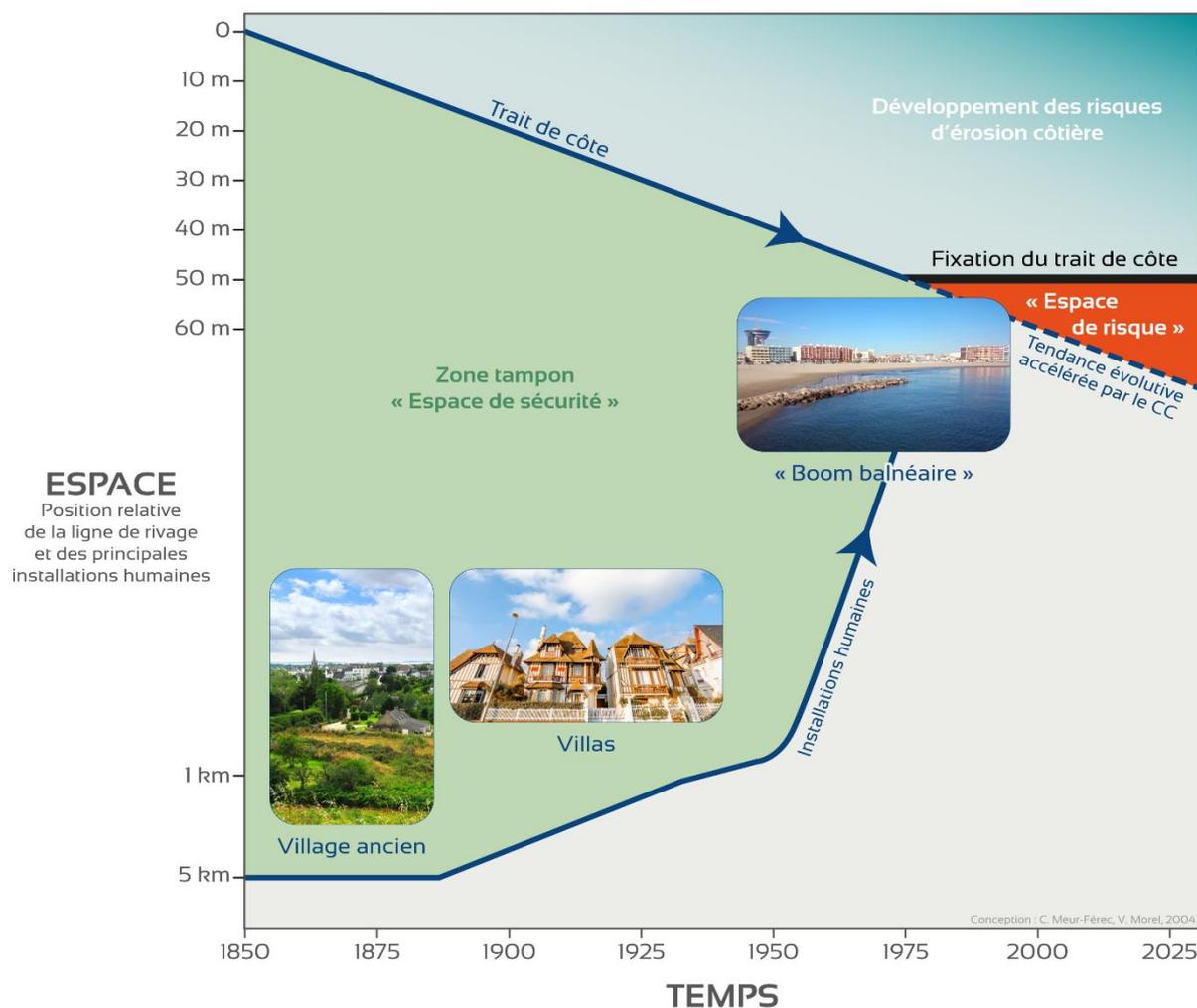


Figure 2.9 : L'émergence d'un espace de risque découle des dynamiques à la fois naturelles et anthropiques qui affectent le littoral : érosion côtière et recul du trait de côte, puis fixation de celui-ci en lien avec la volonté d'urbanisation au plus proche du rivage (Laurence David, d'après Meur-Férec et Morel, 2004)

L'approche qualitative est chronologiquement la première à avoir été déployée pour identifier les enjeux exposés aux risques côtiers. Elle a longtemps été contrainte par la qualité de l'information géographique disponible, et confinée à la carte topographique à 1/25 000 de l'IGN, éventuellement agrandie au 1/10 000 (Garry, 1994). Outre la cartographie de l'aléa, le Guide d'élaboration des plans de prévention des risques littoraux préconisait d'identifier les populations en danger, les établissements recevant du public (hôpitaux, écoles, etc.), les équipements sensibles (postes EDF, centraux téléphoniques, etc.), les voies de circulation accessibles (Garry *et al.*, 1997).

La sensible amélioration de l'accès à l'information géographique numérique a permis d'affiner et d'étendre géographiquement ces diagnostics qualitatifs, tout en permettant de hiérarchiser les enjeux. Dans ses travaux sur les risques en Martinique, Frédéric Leone regrettait de devoir se contenter de la couche des bâtiments de la BDTopo IGN pour développer des fonctions d'endommagement (Leone, 2004). Les données attributaires de cette couche ne permettaient en effet pas de décrire avec précision les caractéristiques intrinsèques des bâtiments situés dans les zones d'exposition aux aléas côtiers et sismiques analysés. La fonction

d'endommagement reposait alors sur une comptabilisation du nombre de bâtiments, et l'évaluation des dommages considérait un prix de remplacement unique pour tous (113 000) les bâtiments considérés. Dans des conditions similaires d'accès aux données sur le bâti, c'est au prix d'investigations systématiques sur le terrain, qu'Axel Creach et ses collègues ont pu qualifier la vulnérabilité intrinsèque des bâtiments résidentiels situés en zone submersible dans leurs sites d'étude de Charente-Maritime et de Vendée (Creach *et al.*, 2015). Par ce type de méthode, l'établissement d'un diagnostic systématique du littoral, par exemple à l'échelle de l'ensemble des zones impactées par les submersions marines engendrées par la tempête Xynthia, est hors de portée. C'est pourquoi, dans l'optique de développer une approche générique et automatisée à l'échelle d'un département entier (la Loire-Atlantique), Juigner et al. (2017) ont opté pour un simple indicateur d'emprise au sol des bâtiments indifférenciés (résidentiels) de la BD Topo IGN, dans l'optique d'en évaluer l'exposition au recul du trait de côte. Progresser davantage dans la quantification des dommages nécessite d'accéder à des données décrivant les caractéristiques des enjeux.

Tirant profit des données foncières, François Hédou et Boris Leclerc (2020) ont entrepris d'évaluer à l'échelle nationale les effets potentiels du recul du trait de côte sur les bâtiments résidentiels. Leur objectif était de produire un diagnostic homogène à l'échelle des côtes françaises et à différents horizons temporels jusqu'en 2100. L'analyse repose d'une part sur une évaluation de l'aléa, c'est-à-dire le recul du trait de côte, à partir de données du Cerema (Inventaire national de l'érosion côtière, ouvrages côtiers, nature du trait de côte EuroSION), et d'autre part sur le calcul d'un prix médian des logements par bande littorale d'un kilomètre à partir des référentiels grande échelle de l'IGN (BD Parcellaire), du cadastre (Fichiers fonciers) et de données foncières (DV3F). Sur la base de données ainsi constituée, ils ont appliqué 6 scénarios selon le recul du trait de côte et le devenir des ouvrages côtiers (maintien, disparition progressive, ouvrages effacés). L'analyse des projections annuelles du trait de côte leur a permis d'estimer le nombre et la valeur des bâtiments et des logements susceptibles d'être affectés par l'érosion côtière jusqu'en 2100. Selon les scénarios, les résultats s'établissent dans une fourchette de 3 800 à 31 800 bâtiments, de 5 000 à 47 300 logements pour un coût de 8 millions à 8 milliards d'euros. Comme l'indiquent les auteurs, ces résultats ne fournissent qu'une appréciation grossière des possibles conséquences du recul du trait de côte sur l'urbanisation littorale, d'une part en raison des incertitudes sur l'ampleur et le rythme de ce recul, et d'autre part du fait de la seule prise en compte des enjeux actuels, sans tenir compte de l'urbanisation future (Hédou et Leclerc, 2020).

Malgré ces incertitudes, on voit que l'information géographique désormais disponible permet de décrire de plus en plus précisément l'occupation et les usages du littoral. Elle offre ainsi la possibilité non seulement d'identifier et de cartographier les enjeux exposés aux aléas littoraux, mais également d'en évaluer la valeur économique (André et al., 2013 ; Naulin et al., 2016), et de contribuer ainsi à la définition des cadres de référence pertinents pour parvenir à évaluer et suivre la vulnérabilité systémique des territoires littoraux, en intégrant, outre les aléas et les enjeux, les modalités de gestion et les représentations sociales des risques côtiers (Meur-Ferec *et al.*, 2020). Leur analyse spatiale fournit une base de connaissance multiscale appropriée pour contribuer à la réflexion sur les modalités de gestion opérationnelle des

risques côtiers, ainsi que sur les probables recompositions de l'occupation du littoral susceptibles de découler des changements environnementaux déjà amorcés (Kerguillec *et al.*, 2019 ; Meur-Ferec et Rabuteau, 2014 ; Renard, 2016 ; Robert et Melin, 2016).

2.3.7. Essai de synthèse graphique

À la suite de cet état de l'art, une proposition de synthèse graphique sur le principe des chorèmes (Brunet, 1986) est tentée dans la figure 2.10. Deux composantes sont considérées (a). Elles traduisent d'une part l'opposition entre littoral et arrière-pays et, d'autre part, celle des espaces multifonctionnels (ou urbains) aux espaces porteurs de fortes aménités environnementales, à vocation plus résidentielle et touristique. Cinq types de polarités sont distingués (b). Deux sont spécifiquement urbaines et multifonctionnelles (métropole, ville-port). La mésopole, également urbaine, bénéficie indéniablement des aménités environnementales liées au littoral. La station balnéaire, bien que pouvant revêtir certains caractères urbains, est fonctionnellement dédiée à la villégiature et au tourisme. Enfin, les espaces naturels, par les aménités qu'ils procurent, doivent également être considérés comme polarisants. Ces polarités dessinent la carte des densités (c), notamment démographiques. Les espaces naturels protégés, par essence, restent des espaces de faible densité. Ces configurations déterminent des processus divers (d). La métropolisation tend à accroître les densités et les fonctionnalités des territoires concernés. La périurbanisation traduit le départ des centres-villes des ménages à la recherche des cadres paysagers et de la qualité de vie associés à la campagne. Les ménages dont les revenus ne permettent ni de rester dans les centres-villes saturés ou en voie d'embourgeoisement, ni de s'installer dans les espaces périurbains à leur voisinage, se trouvent relégués dans les espaces ruraux « ordinaires » de l'arrière-pays. Enfin, certains espaces de faible densité, mais dotés d'importantes aménités environnementales deviennent l'objet d'une valorisation touristique et résidentielle par des populations à revenu élevé, mais souhaitant échapper aux fortes densités et aux littoraux les plus saturés. Ces processus se traduisent par une augmentation de la pression foncière dans tous les espaces attractifs, qui tendent, par rétroaction, à renforcer les processus de ségrégation spatiale (e). Au regard de l'état de l'art réalisé, différents profils régionaux se dégagent à partir des processus ainsi synthétisés. La côte méditerranéenne, la plus précocement attractive par ses aménités littorales et climatiques, atteint un état de saturation qui génère des dynamiques démographiques et sociospatiales dont les dimensions s'établissent à l'échelle régionale, voire nationale (Casanova et Helle, 2012 ; Voiron-Canicio *et al.*, 2016). La façade atlantique en bénéficie depuis plusieurs décennies (Vye, 2011 ; Ghékière et Houillon, 2013), notamment ses villes moyennes (les *mésopoles* littorales) qui attirent les flux démographiques et fonciers à la fois par la multifonctionnalité liée à leur caractère urbain et par leur cadre de vie désormais considéré comme extrêmement attractif. Des phénomènes de ségrégation sociospatiale s'y observent désormais entre le littoral et l'arrière-pays (Buhot, 2009). Enfin, les littoraux de la Manche, proches des espaces économiques et décisionnels les plus dynamiques, valorisent davantage leur multifonctionnalité. Les aménités environnementales, comparativement moins valorisées, des villes-ports se traduisent par le maintien des dynamiques de désaffection urbaine, observées depuis les années 1970 au profit d'une forte périurbanisation (Bermond et Marie, 2016). Ce processus tend toutefois à s'atténuer, voire à s'équilibrer ces dernières années.

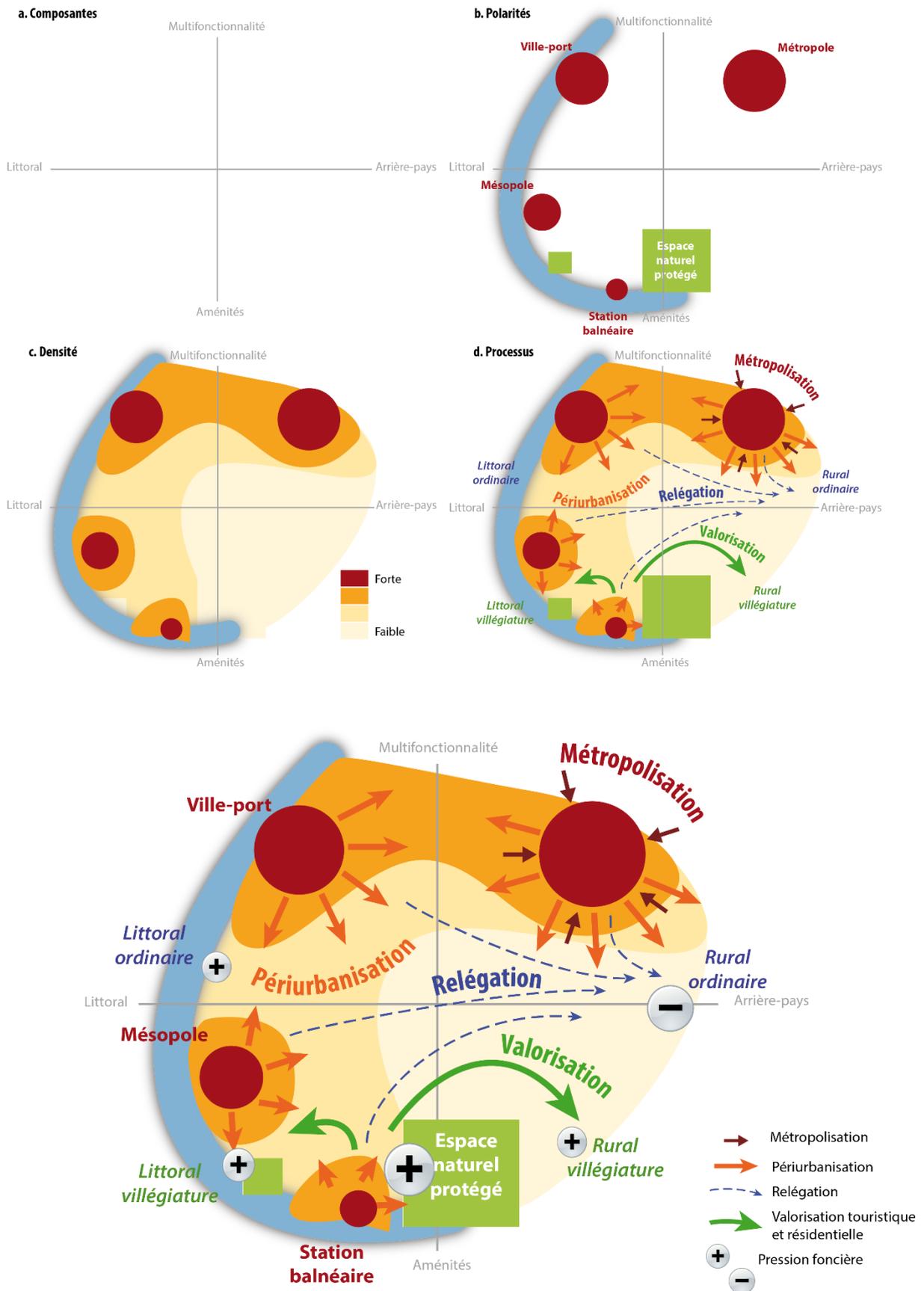


Figure 2.10 : Modélisation graphique des dynamiques d'occupation du littoral en France

2.4. Positionnement de mes recherches

Contribuant aux *Land change sciences*, la géographie étudie l'espace dans ses dimensions à la fois biophysiques et socio-économiques. Elle analyse les interactions, les évolutions, les facteurs déterminants et les conséquences à différentes échelles, notamment à travers les marqueurs que constituent l'occupation et l'usage du sol. Pour cela, elle mobilise la géomatique, qu'elle contribue à améliorer et à développer. À cet égard, les évolutions récentes, notamment en termes d'accessibilité de l'information géographique et de développement d'outils à la fois ergonomiques et puissants, fournissent un cadre propice à l'analyse des changements d'occupation et d'usage du sol.

Les données à grande échelle permettent désormais de produire des descriptions fines des changements d'occupation du sol. Elles ouvrent la possibilité de décrire ces changements à l'échelle de la parcelle foncière, « plancher géographique », qui constitue l'entité élémentaire des projets d'aménagement du territoire portés par les acteurs institutionnels et économiques, ainsi que l'unité de transaction au sein de laquelle s'établissent les projets résidentiels des ménages. De plus, l'information géographique multithématique produite et diffusée par les établissements publics et les services de l'État ouvre la possibilité de dépasser l'identification des transitions entre états d'occupation du sol. Les descripteurs qu'elle fournit permettent de s'interroger sur l'évolution des usages au regard des changements démographiques en cours, en particulier sur le littoral, et des mutations sociospatiales et foncières qu'ils engendrent. Enfin, l'intégration de cette information géographique dans les SIG permet de mobiliser des méthodes d'analyse spatiotemporelles pour améliorer la compréhension des ressorts spatiaux (facteurs géographiques classiques liés à la distance aux infrastructures, aux services et aux aménités), économiques, environnementaux et réglementaires de ces évolutions, à différentes échelles spatiales et temporelles.

De fait, les interactions complexes entre ces différents facteurs déterminent l'évolution de l'occupation et de l'usage du littoral. Dans la mesure où l'attractivité du littoral ne se dément pas, ces changements et les reconfigurations sociospatiales qui en découlent sont-ils contrôlés (et désirés) par les acteurs publics et les habitants des territoires côtiers ? Quelle est l'efficacité de l'arsenal législatif et réglementaire pour protéger les espaces naturels et agricoles face à leur urbanisation toujours encouragée par les marchés fonciers ? Dans quelle mesure ces changements d'occupation et d'usage du sol contribuent-ils à la vulnérabilité des territoires aux risques côtiers, notamment dans un contexte changements environnementaux en cours et à venir, qui affectent tout particulièrement les littoraux ?

Ces questions ont une portée opérationnelle et sociétale. Mais les changements d'occupation et d'usage du littoral constituent également un objet de recherche pertinent, en tant que système complexe, dont il faut parvenir à décrire les différents espaces et compartiments, les interactions internes et externes, et les dynamiques à différentes échelles spatiales et temporelles. Les questions à la fois thématiques, spatiales et méthodologiques constituent le cadre des travaux que je présente dans ce mémoire. Ils ont été réalisés sur une période relativement longue (20 ans). Les questionnements et les contraintes méthodologiques qui les motivent ou les conditionnent ont donc sensiblement évolué au gré des évolutions techniques,

méthodologiques et institutionnelles évoquées dans le second et le troisième chapitre de cette partie (§2.2 et §2.3).

La thématique de recherche que j'ai choisi de présenter porte sur les changements d'occupation et d'usage du littoral breton, déclinée spatialement du niveau local à régional, avec une profondeur temporelle variable, pouvant remonter au XIXe siècle, mais plutôt focalisée sur la période de l'après-guerre jusqu'à nos jours. C'est en effet celle de la modernisation de l'économie bretonne, de l'aménagement de son territoire et des principales mutations sociétales récentes à l'origine de profondes évolutions de l'occupation du littoral (Lebahy et Le Délézir, 2006 ; Lescoat, 1996 ; Meynier, 1976 ; Ollivro, 2000). Traditionnellement constituée d'une mosaïque complexe d'entités paysagères, notamment caractérisée par la dispersion de son habitat rural (Meynier, 1966), elle a connu des changements répétés d'occupation et d'usage du sol, sans réelle coordination ou organisation d'ensemble (Le Dû-Blayo, 2007 ; Lebahy et Le Délézir, 2006). L'agriculture y a été modernisée à marche forcée pour aboutir à un modèle intensif reposant sur quelques systèmes de production (lait, légumes, élevage hors-sol) très intégrés dans une puissante industrie agroalimentaire et concentrés dans un nombre de plus en plus réduit d'exploitations de plus en plus étendues (Canévet, 1993)⁴¹. Les effets paysagers de cette modernisation ont été parfois radicaux, notamment lors des premières opérations de remembrement opérant selon le principe de la table rase (Guellec, 1979), et largement critiqués (Missonnier, 1976 ; Lescoat, 1996). Selon les potentialités agronomiques et l'attractivité touristique et résidentielle des territoires, ce dynamisme s'est doublé d'une déprise qui a contribué à l'abandon de certaines surfaces agricoles ou à leur urbanisation. En Bretagne, comme sur une grande partie du littoral français, l'extension de l'urbanisation résidentielle a été favorisée à la fois par la structure foncière, morcelée et propice à la construction résidentielle individuelle, et par la viabilisation généralisée (adduction d'eau, électrification, voirie) entreprise dans le cadre de la politique de « renouveau rural » mise en œuvre par l'État entre 1950 et 1970 (Le Pape, 1993 ; Poinot, 2008), rendant « *techniquement constructible presque tout le territoire* » (Flatrès, 1979). Elle est renforcée par le fait historique et géographique de la concentration des principales villes (à l'exception notable de Rennes son chef-lieu) et de la population sur son littoral (fig. 2.11) : les communes littorales abritent plus du tiers de la population régionale (36,7 % des habitants sur 18,5 % du territoire) et leur densité est deux fois supérieure à celle de l'ensemble de la région (239 hab./km² contre 121,5 en 2017). Enfin, le tourisme y a connu un développement considérable. Amorcé dès le XIXe siècle dans quelques stations balnéaires (Vincent, 2006), il s'est largement développé à partir des années 1970, également en lien avec l'accroissement des revenus et de la mobilité des ménages, de même qu'avec l'attrait pour les aménités paysagères et récréatives du littoral, mais également d'une certaine permissivité de la réglementation et de la planification urbaine... (Bonneau, 1972). Elles accueillent ainsi 76 % des 12,8 millions de touristes qui fréquentent la Bretagne chaque année⁴². En retour, cette urbanisation mal

⁴¹ D'après le Ministère de l'agriculture (<https://agreste.agriculture.gouv.fr/>), entre 1970 et 2010 en Bretagne, le nombre d'exploitations est passé de 269 980 à 68 894, tandis que la surface agricole utilisée évoluait dans le même temps de 3 864 051 à 3 276 458 ha.

⁴² Les chiffres clef du tourisme en Bretagne, 2018 : <https://acteurs.tourismebretagne.bzh/observer/>

contrôlée aboutit aujourd’hui, parmi d’autres conséquences, à son exposition accrue aux aléas littoraux, d’érosion et de submersion, générant des territoires de risque qui posent de redoutables questions d’aménagement. Les problématiques de recherche qui résultent de ces évolutions sont nombreuses. Mes travaux ne les couvrent bien évidemment pas toutes. Les choix qui ont orienté le contenu de ce mémoire se fondent sur les étapes suivantes.

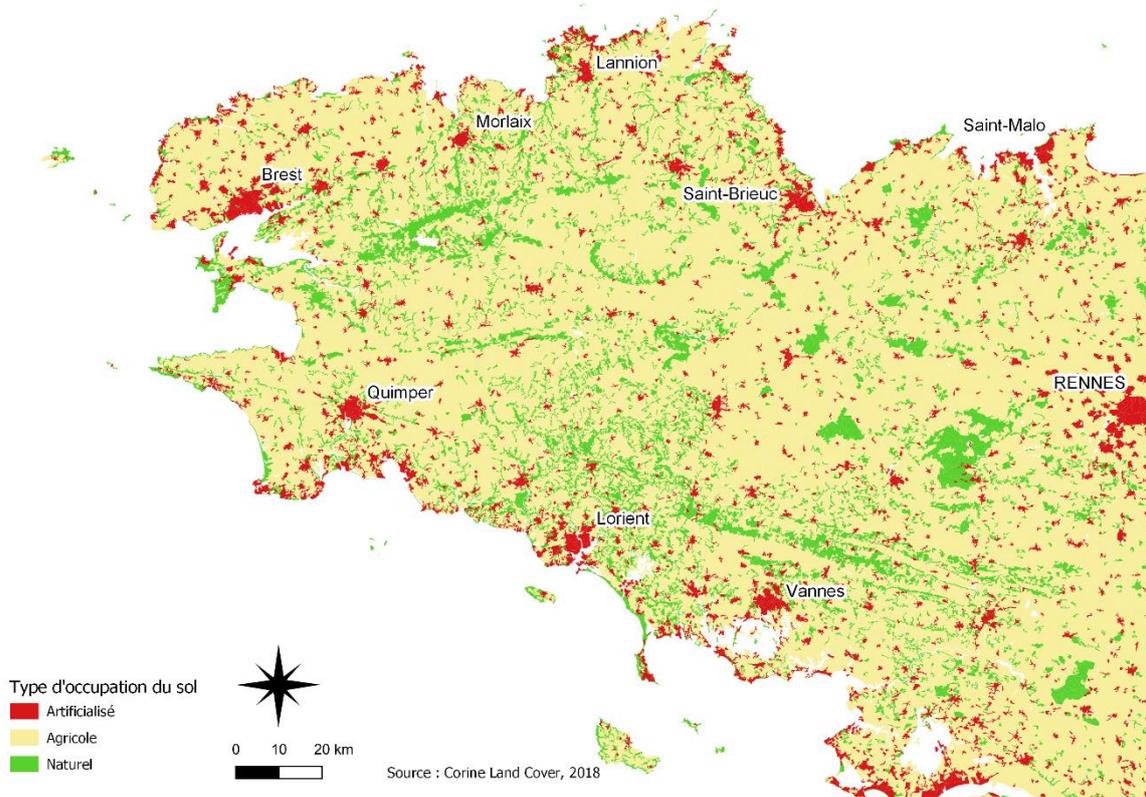


Figure 2.11 : Occupation du sol en Bretagne en 2018 (source : Corine Land Cover)

Dans un premier temps, j’ai contribué à produire des analyses diachroniques de l’occupation et de l’usage du littoral. Il s’agissait de réaliser des états cartographiques, à partir desquels il devenait possible de spatialiser et de quantifier les changements, tout en décrivant leur évolution temporelle. Avec l’accès à l’imagerie satellitaire à très haute résolution (SPOT 5 en premier lieu), les contraintes d’échelle et d’étendue géographique des terrains d’étude se sont relâchées, ce qui a permis d’analyser les dynamiques spatiales dans des territoires fonctionnels, tels que les aires urbaines, au lieu de microsites d’étude d’échelle communale. Ce type d’analyse diachronique a porté sur le Pays de Brest, selon une approche générale de description des trajectoires d’occupation du sol (Sparfel *et al.*, 2008, 2011), puis sur l’exploitation des données complémentaires (recensement de la population, planification urbaine, etc.) visant à en identifier les déterminants et à en comprendre les évolutions (Thériault *et al.*, 2011).

Dans un second temps, c’est sur l’analyse de ces facteurs déterminants que mes travaux se sont orientés. Avec une attention particulière portée à l’urbanisation résidentielle, qui constitue l’un des usages ayant le plus influencé l’évolution de l’occupation des littoraux bretons depuis

l'après-guerre. Ces travaux ont été permis d'une part, grâce à l'accès à une offre de plus en plus étendue à l'information géographique à grande échelle et, d'autre part, par la mobilisation de méthodes de modélisation statistique grâce à la fructueuse et enrichissante collaboration entreprise avec Marius Thériault de l'université Laval (Québec). Ces recherches ont permis d'intégrer, dans une base de données originale, les principaux facteurs déterminant l'urbanisation résidentielle identifiés dans la littérature, puis d'en évaluer les contributions respectives, tout en contrôlant leurs effets conjoints, et leurs évolutions spatiotemporelles. Il a ainsi été possible d'étudier l'existence d'un effet littoral, ainsi que l'efficacité de la réglementation et de la planification urbaine sur l'urbanisation résidentielle du Pays de Brest (Le Berre *et al.*, 2016a, 2017 ; Thériault *et al.*, 2020).

Conjointement, dans le cadre de projets coordonnés par plusieurs collègues de LETG et de l'IUEM (Hénaff et Philippe, 2014, 2020 ; Meur-Ferec *et al.*, 2012), ces données ont été remobilisées et étendues à l'échelle régionale pour contribuer à une réflexion collective sur la vulnérabilité des territoires littoraux de Bretagne aux risques côtiers d'érosion et de submersion (Meur-Ferec *et al.*, 2020). L'originalité de cette recherche réside à la fois dans cette réflexion interdisciplinaire, associant sciences humaines et sociales et sciences de la terre autour du concept de vulnérabilité systémique et de sa mise en œuvre sous forme d'indicateurs et d'indices combinant quatre composantes (aléas, enjeux, gestion et représentations). Elle réside également dans l'implication étroite des acteurs de la gestion des risques côtiers (collectivités territoriales, services de l'État) dans la co-construction d'une base de données, d'indicateurs et d'une interface web-SIG permettant d'explorer cette vulnérabilité systémique (Le Berre *et al.*, 2020).

Ces travaux sont présentés dans la seconde partie de ce mémoire. Ils fournissent le matériel de réflexion à la base de la proposition de recherche formulée dans la troisième et dernière partie.

Partie 2

Contribution à l'étude des changements d'occupation et d'usage du littoral

Cette seconde partie présente la part de mes recherches consacrée à l'évolution de l'occupation et à l'usage du littoral. Elle se décompose en trois chapitres correspondant aux thématiques énoncées dans le titre de ce mémoire : évolution, déterminants, conséquences.

Le troisième chapitre revient sur les travaux auxquels j'ai contribué sur la cartographie diachronique de l'occupation et de l'usage du sol, à partir de données hétérogènes (information géographique, photographies aériennes, images satellitaires). Mais ils comportent tous les questionnements sur les facteurs à l'origine des changements observés et sur leur analyse.

Ces facteurs déterminants font plus spécifiquement l'objet du chapitre 4, qui dresse le bilan des travaux réalisés en partenariat avec notre collègue Marius Thériault de l'Université Laval (Québec). Ces travaux se sont attachés à tirer le meilleur parti de la libéralisation de l'information géographique pour construire une base de données spatiotemporelles permettant de mettre en œuvre des méthodes de modélisation statistique visant à analyser les contributions conjointes de divers facteurs de changement d'occupation du sol qu'ils soient génériques (distance, accessibilité, etc.), ou spécifiques au littoral.

Enfin, le chapitre 5 présente les avancées obtenues dans le cadre des recherches interdisciplinaires conduites à l'IUEM sur les risques côtiers. Il s'écarte donc un peu des changements d'occupation et d'usage du littoral, pour aborder la notion complexe de vulnérabilité systématique. Dans ce cadre conceptuel, c'est en tant qu'enjeux que l'occupation et l'usage du littoral interagissent avec les autres composantes (aléas, gestion et représentation) pour exprimer la vulnérabilité systémique, notamment analysée au sein d'un observatoire intégré des risques côtiers en cours d'institutionnalisation (OSIRISC).

3. Cartographie de l'occupation du littoral et de son évolution

Dans le domaine très large de l'étude des changements d'occupation et d'usage du sol, l'évolution des travaux témoigne des possibilités analytiques accrues qu'offre l'accès à une information géographique structurée, à haute résolution et à fort contenu sémantique (cf. § 2.2.2). Partant de l'inventaire de l'occupation du sol et de sa cartographie, à des échelles très contraintes par celle de l'information géographique disponible, une part importante des travaux menés dans ce domaine d'investigation est aujourd'hui consacrée à la recherche des facteurs déterminant les changements d'occupation du sol, à la compréhension de leur contribution et de leurs effets, ainsi qu'à des analyses prospectives sur l'évolution des territoires. Dans ce contexte, mes travaux se sont tout d'abord consacrés à l'évolution de l'occupation du littoral à l'échelle du Pays de Brest.

Ces travaux ont en quelque sorte prolongé ceux auxquels j'ai contribué lors de mes études (maîtrise, DEA), dans le cadre du SIG dédié à la Réserve de biosphère de la mer d'Iroise (Brigand et Le Berre, 1994 ; Couix et Le Berre, 1996 ; Bioret *et al.*, 1994). Dès sa création en 1990, le développement d'un SIG a été envisagé afin d'analyser et de modéliser le fonctionnement du microsysteme insulaire constitué par Ouessant et l'archipel de Molène (Gourmelon *et al.*, 1995). D'un point de vue scientifique, la micro-insularité offrait en effet quelques avantages. Les problématiques des territoires littoraux s'y révèlent avec une acuité particulière (Mercier, 1990), les petits territoires insulaires s'avérant souvent particulièrement sensibles face à des transformations internes (déprise agricole, vieillissement de la population) ou découlant de facteurs exogènes (tourisme, conservation de l'environnement). Aussi leurs dimensions géographiques en font-elles des « modèles réduits », facilitant les approches scientifiques globales, tout en laissant ouvertes les perspectives d'opérationnalisation de la recherche (Moles, 1982). Dans un contexte de rareté de l'information géographique numérique, la micro-insularité présentait également des avantages : un territoire restreint et parfaitement circonscrit, des milieux et des systèmes socio-économiques originaux, mais souvent simplifiés par rapport aux systèmes continentaux.

De fait, pour restituer avec pertinence les changements d'occupation du sol du littoral breton, dont la dimension souvent réduite nécessite une cartographie fine, le seul support disponible jusqu'aux années 1980 est la photographie aérienne. Mais elle s'avère peu adaptée à la cartographie de territoires étendus. C'est probablement pourquoi le seul référentiel synoptique et à grande échelle décrivant l'occupation du sol est longtemps resté l'IPLI. Élaboré en 1977 sur l'ensemble du littoral métropolitain à l'échelle du 1/25 000, et malgré son intitulé, il n'a pu être mis à jour que trois décennies plus tard, à partir des années 2000. À cette date également, la mise à disposition des référentiels orthophotographiques (notamment l'Ortholittorale 2000, premier référentiel librement utilisable) a permis de faciliter en partie la production d'information géographique. Mais le caractère chronophage de la photo-interprétation restait contraignant pour pouvoir étudier des territoires représentatifs des dynamiques spatiales affectant les littoraux dans leur dimension fonctionnelle, celle des aires urbaines par exemple.

Cette partie revient ainsi sur les expérimentations menées dans le cadre de l'appel à projets CNES-IFEN sur « *le suivi du littoral à grande échelle par imagerie SPOT 5* » (Le Berre *et al.*, 2005), puis dans celui de la thèse de Lénaïg Sparfel (2011) que j'ai contribué à encadrer (Sparfel *et al.*, 2008, 2011 ; Thériault *et al.*, 2011). L'objectif de ces travaux était de mobiliser différentes sources de données (imagerie satellitaire à très haute résolution et IPLI77 notamment), pour produire une analyse diachronique de l'occupation du sol à l'échelle d'une aire urbaine et avec une profondeur historique suffisante pour remonter à l'origine des facteurs de mutations du littoral breton.

3.1. De la photo-interprétation à l'analyse orientée-objet

Disponibles depuis les années 1970, les images satellitaires ont été rapidement identifiées comme une alternative intéressante à la photographie aérienne pour l'observation du littoral (Robin et Gourmelon, 2005 ; Verger, 2010) et notamment celle de ses changements d'occupation (Cuq *et al.*, 1996 ; Guillopé *et al.*, 1994 ; Menanteau *et al.*, 1997). Cependant, malgré la répétitivité des observations sur de larges étendues géographiques, et bien que leur format numérique favorise la reproductibilité des méthodes de traitement, la faible résolution spatiale des images satellitaires a longtemps contraint l'échelle de cartographie. À partir des années 2000, la disponibilité d'images satellitaires à haute puis à très haute résolution ouvre de nouvelles perspectives, notamment pour les espaces littoraux, espaces dynamiques où les changements peuvent être rapides – nécessitant donc des suivis à fréquence plus élevée que celle des missions aériennes décennales produites par l'IGN – et dont l'occupation du sol est souvent très fragmentée et hétérogène.

L'augmentation de la résolution spatiale permet d'identifier des objets géographiques de dimensions réduites, tels que le bâti individuel par exemple. Mais elle accroît l'hétérogénéité de l'information à extraire des images. Elle en complique l'extraction par des méthodes uniquement basées sur les valeurs spectrales des pixels (Blaschke et Strobl, 2001 ; Bousquet *et al.*, 2013 ; Townshend *et al.*, 2000). Pour améliorer les faibles performances des méthodes classiques pour le traitement des images à haute résolution, des approches « orientées-objet » reposant sur une gamme de critères étendue (spectraux, spatiaux, contextuels...) ont été développées (Kamagata *et al.*, 2005 ; Rego et Koch, 2003 ; Willhauck, 2000). Mais l'approche orientée-objet implique une connaissance experte de l'information à extraire qui, dans les premiers temps, a plutôt encouragé les approches sectorielles sur la végétation ou les milieux urbains par exemple et notamment appliquées à la détection de changements spatiaux (Aguejidad *et al.*, 2006 ; Puissant et Weber, 2004). Dans nos travaux, nous avons cherché à restituer autant que possible l'occupation du littoral dans sa complexité thématique et spatiale, à différentes échelles, afin de pouvoir confronter les couches issues du traitement d'image, avec les référentiels d'occupation du sol historiques, pour mesurer les changements sur plusieurs décennies.

3.2. Zone d'étude

La ville de Brest, qui compte environ 140 000 habitants, constitue le centre d'une région urbaine, qui rassemble près de 400 000 habitants (INSEE). Cette région urbaine, le Pays de

Brest, regroupait 89 communes, intégrées dans 7 intercommunalités en 2010 (fig. 3.1)⁴³. Elle occupait une superficie de 170 000 ha, dont 95 000 dédiés à l'agriculture. Il est limité par environ 370 km de linéaire côtier⁴⁴. En dépit de son caractère périphérique, le Pays de Brest est soumis à des dynamiques semblables à celles de l'ensemble du territoire français avec une forte dynamique d'artificialisation au cours des 30 dernières années (Sparfel *et al.*, 2011). Il constitue un exemple de région urbaine structurée autour d'une ville moyenne, et constituée d'un espace périurbain fortement pourvoyeur d'aménités paysagères et de loisirs liées notamment au littoral.

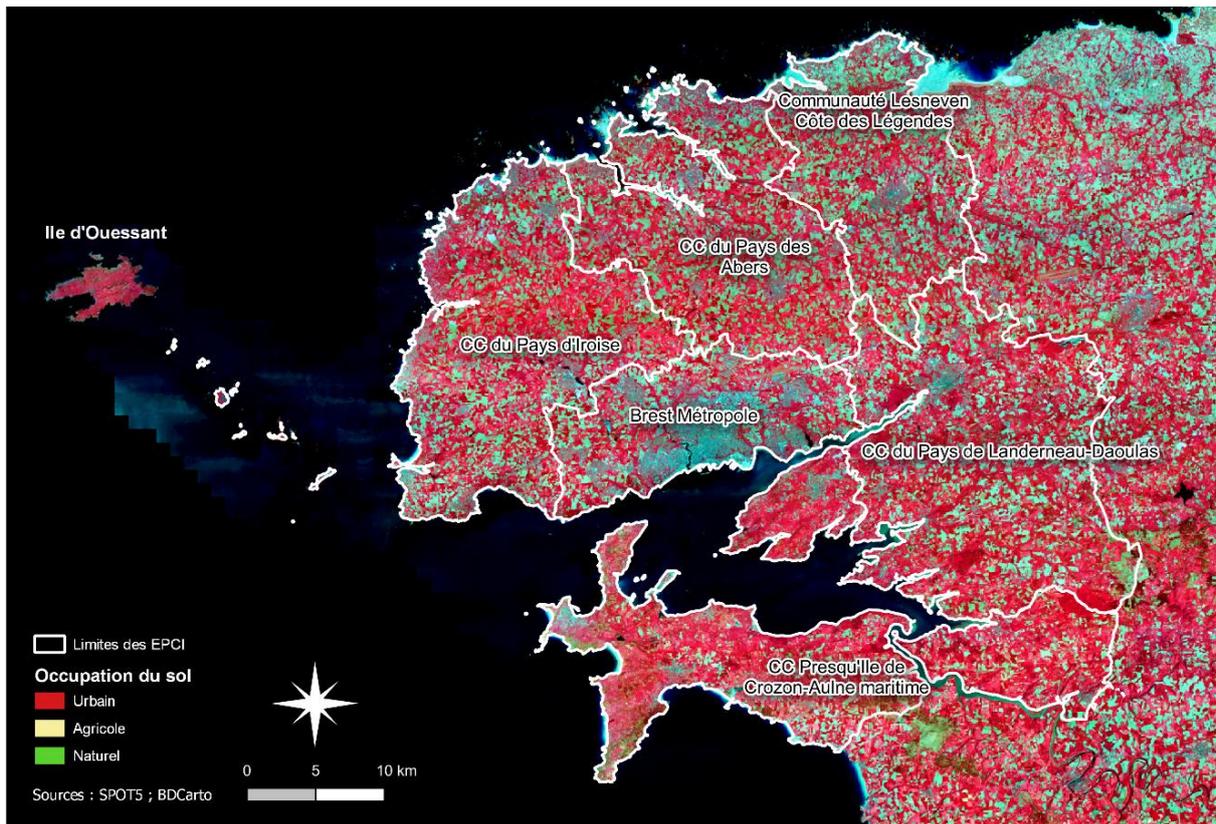


Figure 3.1 : Les intercommunalités du Pays de Brest sur fond SPOT5 (en 2010)

À Brest, comme dans les autres villes françaises, un taux de croissance démographique et économique élevé, accompagné d'un fort exode rural, se sont traduits entre 1950 et 1975 par une hausse rapide de la population urbaine (de l'ordre de 2% par an). La ville a gagné de la population, notamment au détriment des communes rurales de son aire urbaine jusqu'en 1968, date à laquelle elle atteint 154 000 habitants. Ensuite, bien que les soldes naturels restent positifs, le solde migratoire s'est inversé au point que, contrairement à la grande majorité des villes françaises qui ont cessé de perdre des habitants entre 1990 et 1999, la chute de la population brestoise se poursuit jusqu'en 2013 et se stabilise ensuite autour de 140 000 habitants⁴⁵. Cependant, 90% du déficit migratoire brestois s'effectue au bénéfice de son aire

⁴³ Le Pays de Brest regroupe aujourd'hui 7 intercommunalités et 103 communes, après que la commune de Pleyben-Châteaulin-Porzay l'ait rejoint en 2017.

⁴⁴ <http://www.pays-de-brest.fr/scot.php>

⁴⁵ Insee, dossier complet Brest, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-29019#chiffre-cle-1>

urbaine (Bargain *et al.*, 2010). Conformément à la tendance observée dans la plupart des agglomérations françaises, c'est donc sous une forme "éclatée" que s'est poursuivie la croissance urbaine brestoise. Elle correspond à l'observation générale d'une périurbanisation associée à un « renouveau rural » qui peut être interprétée comme un élargissement de l'espace accessible grâce au développement des infrastructures routières, au goût affirmé des ménages pour l'habitat individuel, ainsi qu'à la recherche des aménités environnementales (Zaninetti, 2006). Néanmoins, dans le même temps, Brest n'a pas perdu son influence économique puisqu'elle abrite plus de la moitié des emplois de son aire urbaine. Ces évolutions sont représentatives du phénomène de périurbanisation : l'aire urbaine matérialise un centre (Brest), qui fort de ses emplois, polarise une couronne périurbaine dont les communes envoient chaque jour une part importante (plus de 40% selon la définition officielle de l'INSEE) de leur population active y travailler. Ce rôle structurant est également matérialisé par divers services et équipements commerciaux, médicaux, éducatifs ou culturels de niveau métropolitain fréquentés par une population dépassant largement les limites de l'agglomération.

Par la diversité de ses milieux (urbains, ruraux, naturels), la densité de son occupation et des activités qui s'y déroulent (commerciales, industrielles, agricoles, touristiques, résidentielles, etc.), le Pays de Brest peut donc être considéré comme un territoire pertinent pour mener une analyse des changements d'occupation du littoral. Les dynamiques qui s'y observent – étalement urbain, périurbanisation, littoralisation, en même temps qu'une intensification de la protection des espaces naturels les plus emblématiques – sont représentatives de celles du littoral français métropolitain. Il s'agit également d'un territoire cohérent, qui correspond à l'aire urbaine de Brest et s'inscrit dans le périmètre d'un SCoT, ce qui témoigne de son identification par les acteurs en charge de sa gestion ainsi que par les pratiques de ses habitants.

3.3. Méthodologie

Il se trouve également que ce territoire peut-être intégralement couvert par une seule scène SPOT 5 de 60 par 60 km. L'image exploitée a été obtenue dans le cadre du programme sur le *Suivi du littoral à grande échelle par imagerie SPOT 5* initié par le CNES et l'IFEN (2003-2004). Elle a été acquise le 17 avril 2003 et a été utilisée en mode multibande avec une résolution spatiale de 10 m.

Cette image a été traitée par une méthode d'analyse orientée-objet. Les pixels étant regroupés en fonction de leurs caractéristiques non seulement spectrales, mais également spatiales et contextuelles, cette méthode est proche d'une démarche de photo-interprétation. Elle laisse donc envisager des résultats comparables avec les données vectorielles de référence sur l'occupation du sol. Après les corrections géométriques et radiométriques requises, l'image a été importée au sein d'un projet, avec d'autres données vectorielles contextuelles (trait de côte, hydrographie, etc.). Elle a alors fait l'objet d'une segmentation en régions multiscalaires par une technique itérative et ascendante reposant sur différents critères tels que la valeur spectrale, la taille, la texture, la compacité, etc. Des objets de différents niveaux scalaires (sous- et super-objets) sont créés et associés par des relations hiérarchiques d'appartenance. Ces

relations permettent d'optimiser la classification proprement dite, qui vise à rattacher les objets ainsi identifiés à une typologie, à partir de règles de connaissances définies par l'utilisateur (Sparfel *et al.*, 2008). À partir de cette méthode, une typologie de l'occupation du sol en 3 niveaux a été produite, permettant la comparaison avec l'IPLI77, pour analyser les changements d'occupation du sol sur une trentaine d'années.

La performance globale de la classification a été évaluée à partir de points de contrôles collectés sur le terrain pour construire des matrices de confusion (Sparfel *et al.*, 2008). En l'absence de métadonnées décrivant la qualité de l'IPLI77, une méthode similaire y a été appliquée en se basant sur des points de contrôle photo-interprétés d'après les clichés de la mission aérienne spécifique à cet inventaire.

3.4. Les changements d'occupation du sol dans le Pays de Brest entre 1977 et 2003

La performance globale de la classification de l'image SPOT 5 varie selon les niveaux scalaires : elle s'établit entre 88,5 % au niveau le plus grossier et 75,3 % pour le plus détaillé. La performance varie également en fonction des milieux, de 89,8 % de polygones biens classés pour les zones artificialisées à 72 % pour les terres agricoles. Les confusions s'accroissent avec l'augmentation du détail des classes. La qualité globale très satisfaisante de l'IPLI77 (94,7 % d'entités bien classées) masque cependant d'importantes inégalités (par exemple 100 % d'objets bien classés pour les « bois », contre seulement 40,5 % pour les « prairies humides »).

La comparaison de données issues d'une classification d'image avec des couches photo-interprétées est par ailleurs contrainte par des décalages géométriques et géographiques, et divers artefacts lors de l'identification des changements. Le risque d'erreurs augmentant avec le nombre de classes thématiques des couches d'information d'entrée (Mas, 2000), trois types d'occupation ont finalement été retenus pour analyser les changements : zones artificialisées, terres cultivées, forêts et milieux naturels. Les deux couches ont été croisées par géotraitement (intersection), afin de créer une nouvelle couche de polygones ayant l'emprise spatiale de l'IPLI77 tout en héritant des attributs des deux couches sources. Un nouvel attribut est créé et renseigné par requêtes successives pour produire une matrice décrivant 6 catégories de changements : artificialisation des sols (3 catégories), déprise agricole et enrichissement (une catégorie), absence de changement, changements improbables (mutation d'un espace artificialisé en terre agricole par exemple). La performance globale de la carte des changements, calculée grâce au produit de la précision des deux sources (Mas, 2000), s'établit à 84,9 % (Sparfel *et al.*, 2011). Bien que de qualité variable selon la précision typologique et la nature des objets délimités, ces résultats sont de bonne qualité globale par comparaison avec des résultats obtenus par des méthodes de classification spectrale. Ainsi, la relative complexité de la méthode employée est-elle compensée par le caractère homogène du traitement appliqué à l'échelle d'une image, ainsi que par sa reproductibilité sur les territoires adjacents ou à d'autres dates à partir d'images du même type.

Les résultats obtenus montrent que près d'un quart (23,1 %) de la superficie des communes littorales du Pays de Brest ont changé d'affectation entre 1977 et 2003, soit 23 577 ha (fig. 3.2).

La moitié (49,6 %) des terres ayant changé d'affectation entre 1977 et 2003 se sont artificialisées, ce qui représente 12 500 ha (soit 12,3 % des communes littorales). L'essentiel de l'artificialisation s'est effectué au détriment de terres agricoles, dont 9 400 ha ont été consommés (soit 37 % des changements observés). À l'inverse, le phénomène de déprise agricole est également marqué, puisqu'il concerne 8,1 % du territoire étudié, soit 35 % des terres ayant changé d'affectation. En revanche, la mise en culture de nouvelles terres agricoles au détriment de zones naturelles est plus marginale (de l'ordre de 3 000 ha, soit 15,3 % des changements). Elle s'est surtout opérée dans des fonds de vallons enrichis autour de Brest.

Au total sur le littoral du Pays de Brest, la part des terres artificialisées est passée de 8 600 à 19 700 ha, soit un taux de variation de 129 %. Dans le même temps, la part des terres agricoles s'est réduite de 25 % (de 70 600 à 57 000 ha), tandis que les forêts et milieux naturels et semi-naturels ont progressé de 11 % (21 600 à 24 100 ha).

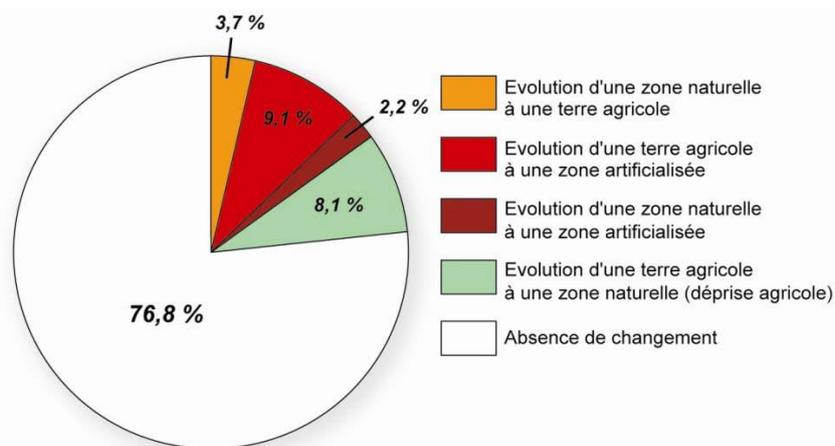


Figure 3.2 : Part des changements d'occupation du sol entre 1977 et 2003 dans le Pays de Brest (Sparfel, 2011).

Bien entendu, ces changements ne se sont pas produits partout avec la même intensité. La restitution cartographique montre l'influence des principaux pôles urbains, et de certains secteurs du littoral (fig. 3.3).

Une artificialisation en couronne est perceptible autour de Brest et de Landerneau, témoignant du phénomène d'étalement urbain ; tandis que celle qui s'opère dans les pôles urbains secondaires (Crozon, Plougastel-Daoulas, Plougonvelin, Plouzané, etc.) atteste d'une densification urbaine, mais également d'étalement des bourgs, notamment sous la forme de lotissements, en lien avec le processus de périurbanisation. Entre 1977 et 2003, c'est 18,5 % de la surface de l'agglomération brestoise qui s'est ainsi artificialisée. Les autres secteurs qui se sont fortement artificialisés sont majoritairement situés sur la frange littorale.

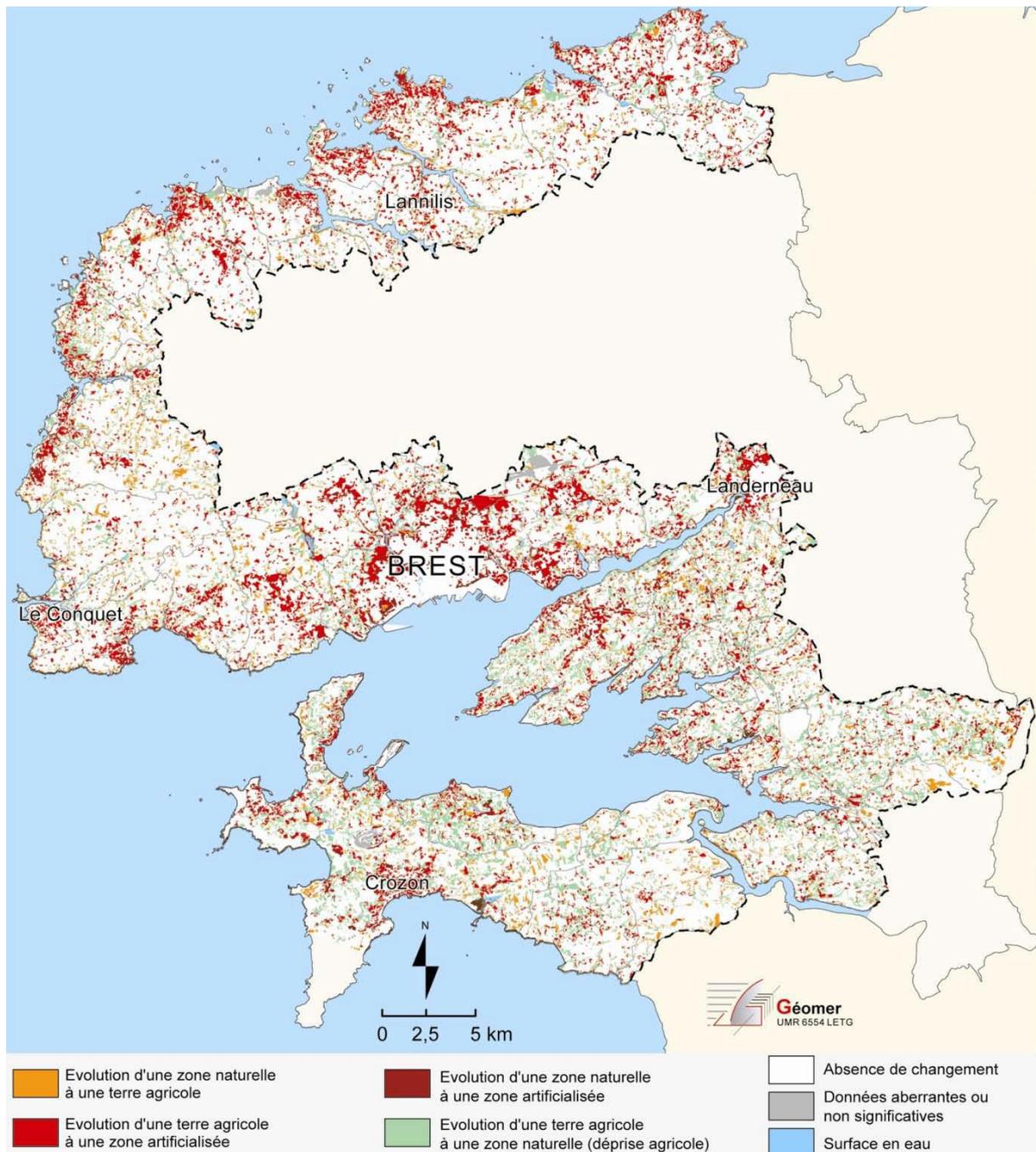


Figure 3.3 : Changements d'occupation du sol dans le Pays de Brest entre 1977 et 2003 (Sparfel, 2011).

Dans la période considérée, c'est dans la bande située entre 100 et 250 m du littoral que les conversions ont été les plus importantes (fig. 3.4) : 30 % des terres y ont changé d'affectation, 22,3 % au profit de l'artificialisation. Les taux d'artificialisation restent supérieurs à 20 % entre 250 et 400 m, puis décroissent ensuite : de 15 à 20 % entre 500 et 1000 m, moins de 15 % au-delà. Dans la bande littorale de 100 m, ce taux s'établit à 16,8 %. Il reste donc conséquent, bien que sensiblement plus faible que dans l'arrière littoral immédiat (100-500 m).

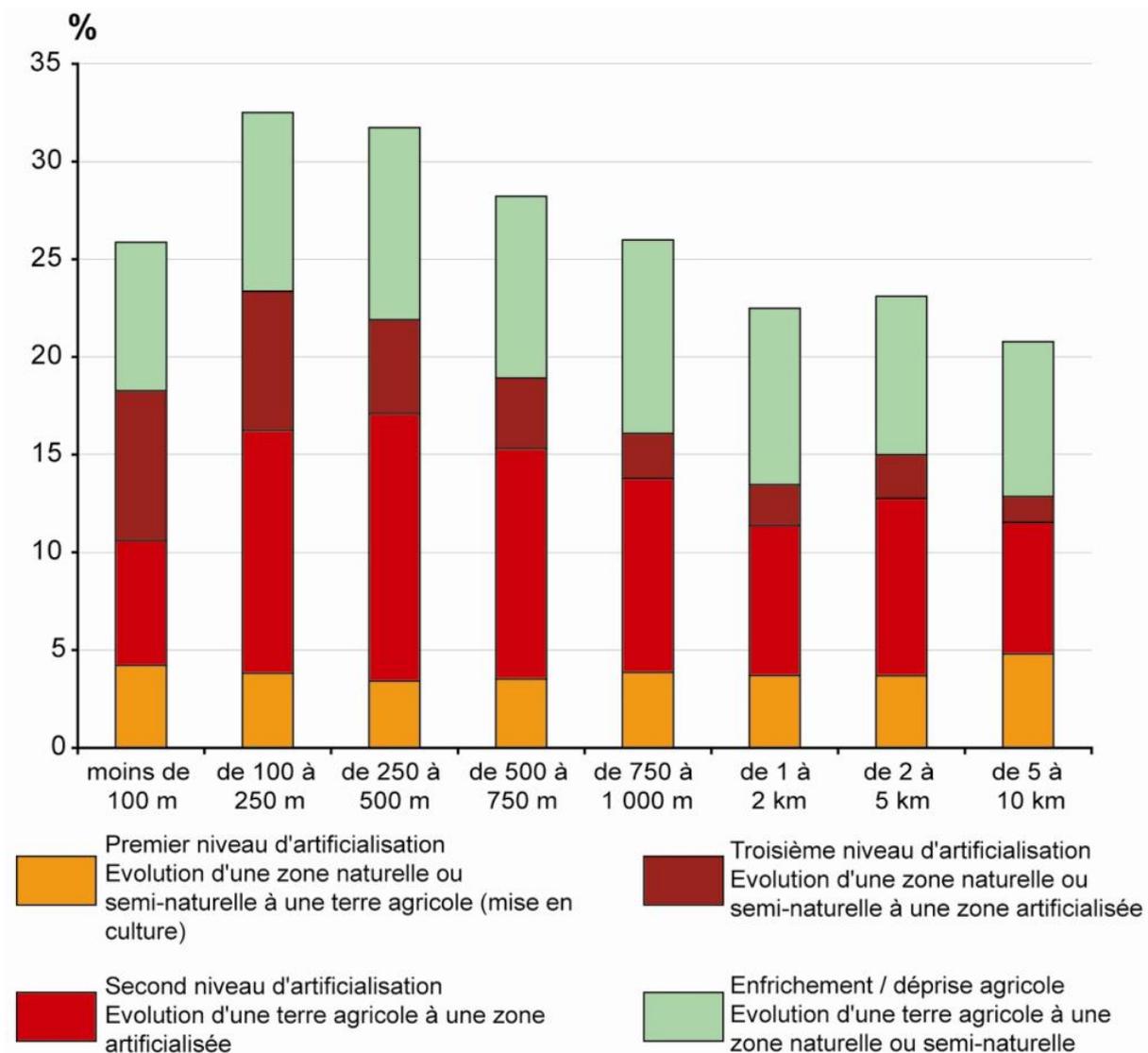


Figure 3.4 : Changements d'occupation du littoral du Pays de Brest entre 1977 et 2003 (Sparfel, 2011).

Peut-on voir un effet de la Loi Littoral dans cette relative modération de l'artificialisation et son report vers l'arrière-littoral ? Si l'on peut raisonnablement envisager que l'artificialisation aurait pu être supérieure sans cette loi, il est difficile de le prouver sur la seule base de ces résultats.

3.5. De l'observation des changements vers l'analyse de leurs causalités

La plupart des changements observés concernent de faibles superficies : c'est surtout leur multiplication qui se traduit finalement par des évolutions significatives (Sparfel, 2011). Ce constat justifie par conséquent l'utilisation de données à grande échelle et à haute résolution pour l'analyse des changements d'occupation du littoral. Mais les processus déterminant ces changements (mutations démographiques, sociales et économiques) prenant leur origine, sur le littoral breton, au cours des Trente glorieuses, une profondeur historique suffisante est requise pour pouvoir en analyser correctement l'ampleur et les structures. Or, si l'on considère d'une part la qualité globale du référentiel IPLI, et, d'autre part, la faible profondeur historique

des données satellitaires, il devient indispensable d'envisager l'exploitation de sources de données alternatives à l'imagerie aérienne et satellitaire pour cette analyse.

Dans ce contexte, la mise à disposition des données foncières a ouvert d'importantes perspectives de recherche pour nos travaux. Ces données permettent en effet d'envisager à la fois d'accroître l'étendue temporelle de nos investigations (en remontant jusqu'aux années 1960), d'en améliorer la restitution spatiale, que ce soit par l'étendue – ces données couvrant l'ensemble du territoire – ou par la résolution (celle de la parcelle foncière), tout en étoffant la description sémantique de ces changements, par des variables diverses, géométriques (superficies) ou qualitatives (usage).

De fait, bien que des corrélations puissent s'observer entre les changements relevés et certains facteurs géographiques (proximité du littoral ou des principaux pôles urbains), les résultats obtenus n'apportent que peu de réponses quant à leur caractère déterminant (Thériault *et al.*, 2011). L'occupation et l'usage du sol sont en effet influencés par de nombreux facteurs qu'ils soient liés aux caractéristiques du foncier (taille, prix), à son environnement (accessibilité, aménités, nuisances), ou à la réglementation (zonages urbanistiques et environnementaux). Une partie de ces facteurs évolue parallèlement ou conjointement aux processus de changements. Par exemple, la loi Littoral repose sur des principes visant à contraindre l'urbanisation du littoral : bande littorale de 100 m, urbanisation perpendiculaire au rivage, corridors verts, etc. Quels facteurs sont les plus déterminants sur l'occupation du littoral ? Comment évoluent-ils ? Comment s'articulent-ils ? Quels sont leurs effets sur le territoire ? Aborder ces questions complexes nécessite de développer des méthodes de modélisation spatiotemporelle.

4. Analyse des facteurs déterminants : la modélisation de l'urbanisation résidentielle

Dans la continuité des travaux présentés dans le chapitre 3, nous avons développé une base de données spatiotemporelles pour tester les effets de la réglementation sur l'urbanisation du littoral. Au-delà d'une description des changements d'occupation du littoral, ces travaux menés depuis 2011 dans le cadre du projet METALURBAIN⁴⁶ (Le Berre *et al.*, 2016a, 2017 ; Thériault *et al.*, 2011, 2020) s'attachent à en comprendre les déterminants, à évaluer leur contribution aux évolutions observées, tout en cherchant à analyser leurs interrelations.

La difficulté d'une telle analyse provient du caractère dynamique de chacun des facteurs identifiés, et de leur niveau variable de dépendances les uns envers les autres. Par ses caractéristiques, l'urbanisation résidentielle peut en effet être assimilée à un système complexe, c'est-à-dire un ensemble composé d'éléments dont les interactions produisent un comportement global que l'on ne peut simplement déduire des propriétés de ses composantes (Poussin, 1987 ; Pumain, 2003). En particulier, ce type de système est composé d'éléments structurels (le parcellaire, le bâti, les centres urbains, le réseau routier, le littoral, etc.) et organisationnels (la réglementation et la planification urbaine), dont les relations sont en évolution permanente, et entretiennent des causalités circulaires (rétroactions) qui sont en réajustement constant (Forrester, 1979)⁴⁷. Un système complexe est également ouvert : c'est-à-dire qu'il n'est pas « étanche » à d'éventuelles interactions externes, à différentes échelles spatiales et temporelles (Brunet, 1979). Si ces caractéristiques posent d'importants problèmes conceptuels et méthodologiques pour leur modélisation (Batty et Torrens, 2001), les méthodes et les outils de la géomatique facilitent « *la mise en relation explicite de configurations géographiques, de structures spatiales, avec des processus générateurs agissant à d'autres échelles à travers une formalisation contrôlée* » d'hypothèses visant à en comprendre les relations à différentes échelles spatiales et temporelles (Pumain, 2003).

La définition du cadre conceptuel de la modélisation revêt donc une importance particulière pour parvenir à formuler les hypothèses qui seront testées, ainsi que pour construire une base de données intégrant les variables pertinentes pour mener l'analyse. Il est également nécessaire de rechercher les méthodes les plus appropriées au regard des données ainsi mises en forme, et des hypothèses à vérifier. Ce sont les étapes analytiques qui vont déterminer le plan de la partie qui suit.

4.1. Cadre conceptuel de l'urbanisation résidentielle

La fonction résidentielle constitue une préoccupation importante pour tous les ménages en raison de sa dimension à la fois utilitaire (un abri indispensable), affective (lieu d'intimité familiale et individuelle), sociale (l'adresse contribuant notamment à l'identité sociale) et économique (Mercier, 2006). C'est aussi un bien marchand – en France, c'est à la fois le plus important actif patrimonial et le premier poste du budget des ménages – ainsi qu'un objet

⁴⁶ Projet associant l'UMR LETG au Centre de recherche en aménagement et développement de l'Université Laval (Québec) et soutenu par le Labex Mer (cf. vol. 2)

⁴⁷ Cf. §2.1

prioritaire des politiques publiques (Driant, 2009 ; Lacaze, 1996), qui constitue un facteur majeur de consommation des espaces ruraux et naturels et de la transformation de leurs paysages (Bell and Irwin, 2002 ; EEA, 2006b).

Les formes urbaines qui sont associées à la fonction résidentielle dépendent à la fois de la vaste gamme de motivations qui déterminent les choix des ménages et des dispositifs politiques et réglementaires mis en place pour l'encourager et pour la contrôler. Parmi les critères de choix des ménages figurent la proximité résidentielle avec des proches, avec l'emploi, ou avec différents services, l'offre de transports, les qualités du voisinage, le goût pour la vie urbaine ou au contraire l'attrait de la nature (Thériault *et al.*, 2005). À ce titre, l'attrait du littoral constitue un déterminant puissant, décrit depuis longtemps à travers le concept d'haliotropisme et se matérialisant par une importante urbanisation de la frange littorale, à l'origine d'enjeux environnementaux, sociétaux et juridiques importants (Merckelbagh, 2009).

4.1.1. Facteurs déterminant l'urbanisation résidentielle

L'absence apparente d'organisation spatiale engendrée par le développement de la construction résidentielle peut parfois laisser penser qu'il s'agit d'un processus largement spontané guidé uniquement par l'offre foncière et la demande des ménages, rejoignant en cela le point de vue de Vallega (2001) qui considère les zones périurbaines comme celles où la planification urbaine ne s'applique pas... Mais la littérature consacrée aux changements d'usage et d'occupation du sol (Lambin and Geist, 2006 ; Agarwal *et al.*, 2002 ; Mas *et al.*, 2014 ; Torrens, 2008), tout comme celle qui s'intéresse à l'évolution spatiotemporelle des valeurs foncières (Can, 1992 ; Grether et Mieszkowski, 1974), montrent que ce développement repose sur une combinaison de facteurs, en partie théorisés, et pouvant être modélisés (tab. 4.1).

Tableau 4.1 : Facteurs exogènes déterminant l'urbanisation résidentielle (d'après Thériault *et al.*, 2020)

Facteur/Variable	Processus	Influence	Référence
Proximité / similitude	Organisation spatiale	Les lieux proches tendent à être similaires (vision transversale ; première loi de la Géographie)	Tobler, 1970
Centralité	Rente foncière	Théorie de la rente foncière / concurrence pour la meilleure centralité (Ricardo, Von Thünen)	Alonso, 1964
Accessibilité	Mobilité / déplacements	Configuration / efficacité du réseau de transport, accès à l'emploi et aux aménités urbaines	Hansen, 1959
Diffusion	Imitation / innovation	Composante spatiotemporelle de diffusion continue (en nappe) ou discontinue (par bonds) dans l'espace	Hägerstrand, 1967
Prix du foncier	Comportement / marché	Les choix des ménages sont guidés par la recherche hédonique d'externalités positives	Rosen, 1974
Politiques publiques	Choix locaux	Segmentation spatiale et regroupement selon les profils socio-économiques des ménages et leurs choix résidentiels	Tiebout, 1956
Contraintes physiques	Faisabilité / aptitudes	Les caractéristiques morphologiques et physiques du terrain contraignent les coûts et la faisabilité de la construction	Grether et Mieszkowski, 1974
Externalités négatives	Bruit / risques	Les infrastructures (routes, aéroports, industries) peuvent causer des nuisances et contraindre le développement urbain	Hunt et Watkiss, 2011

Selon Can (1992), deux catégories de facteurs peuvent ainsi être distinguées. La première regroupe les caractéristiques intrinsèques des propriétés résidentielles telles que la taille de la propriété, le nombre de pièces de la résidence, son confort, son style (Grether et Mieszkowski,

1974 ; Kestens et al., 2005). Le second groupe se réfère à la localisation de la propriété et intègre par conséquent des critères d'accessibilité et de voisinage (Des Rosiers *et al.*, 2001). On doit y ajouter les facteurs socio-économiques qui déterminent les moyens dont disposent les ménages pour accomplir leur projet résidentiel (Kestens *et al.*, 2005), ainsi que les dispositifs réglementaires mis en place par les pouvoirs publics pour encadrer et contrôler l'urbanisation (Carrion-Flores et Irwin, 2004 ; Munroe *et al.*, 2005).

Selon la première loi de la géographie de Tobler (2004) et la théorie de la diffusion spatiale de Hägerstrand (1967), l'urbanisation se diffuse de proche en proche en périphérie immédiate des zones déjà urbanisées (Thériault *et al.*, 2011). Les pôles urbains exercent en effet un rôle structurant grâce à leurs fonctions de commandement. Les lieux de travail figurent parmi les facteurs les plus structurants (Griffond-Boitier *et al.*, 2012), car l'emploi est souvent concentré dans les villes principales ainsi que, plus récemment, dans des centres d'activités qui peuvent alors déterminer une organisation multipolaire (Anderson et Bogart, 2001). Certains équipements (commerciaux, scolaires, santé), que les ménages souhaitent ou doivent fréquenter, ont également un rôle structurant (Des Rosiers *et al.*, 1996, 2001). D'après la théorie de la rente foncière (Alonso, 1964), l'éloignement des pôles centraux est compensé par l'abaissement du coût du foncier et du logement. Ce principe d'équilibre entre coût de déplacement et coût résidentiel contribue à orienter l'urbanisation en fonction de l'organisation des voies de communication et des services de transport en commun. L'accessibilité à ces centres d'activités ou de services peut donc être calculée afin d'en vérifier le rôle polarisant (Thériault *et al.*, 2003). Leur prise en compte dans un processus de modélisation repose ainsi sur des calculs d'accessibilité modale (automobile le plus souvent) ou multimodale, pouvant alors intégrer les transports en commun et la marche à pied (des Rosiers *et al.*, 2010 ; Dubé *et al.*, 2013 ; Thériault *et al.*, 2003).

De plus, dans un contexte de développement de la société de loisirs (Mullins, 1991), certains ménages effectuent leur choix résidentiel en fonction de l'attrait des paysages et des aménités environnementales et, plus largement, de la qualité de l'environnement (Des Rosiers et al., 2002 ; Kestens et al., 2004). La prise en compte de ces facteurs s'appuie généralement sur les prix hédoniques, qui considèrent que le prix d'un bien immobilier dépend de ses caractéristiques, notamment de son environnement (Benson *et al.*, 1998 ; Brossard *et al.*, 2008 ; Rosen, 1974) ; elle peut également intégrer la notion de services écosystémiques (Munroe *et al.*, 2005). Il convient aussi de mentionner l'existence d'externalités négatives découlant des nuisances (bruit, pollution, etc.) liées à la proximité d'infrastructures de transport (routes, aéroports, etc.), d'équipements, d'aménagements et d'activités industrielles et, éventuellement, des zones identifiées comme présentant un risque industriel ou naturel avéré (Hunt et Watkiss, 2011). Tous ces facteurs sont naturellement pondérés par des critères socio-économiques, liés aux caractéristiques des ménages, leur âge, leur composition, leur revenu, mais également leurs goûts (Kestens *et al.*, 2005). Ils peuvent s'avérer déterminants au point de se traduire par de véritables organisations, voire ségrégations spatiales par le revenu ou par l'âge, comme l'a montré la première partie (§2.3) sur le littoral français (Colas, 2017 ; Ghekière et Houillon, 2013 ; Vye, 2011).

Enfin, dans les pays où elle est mise en œuvre, la réglementation de l'urbanisme peut constituer un facteur d'encadrement très puissant pour l'évolution des formes d'urbanisation, soit pour les contraindre dans une optique de protection de l'environnement (Deboudt *et al.*, 2008 ; Merckelbagh, 2009), soit pour favoriser certains types d'aménagements (Carrion-Flores et Irwin, 2004 ; Eymery, 2014 ; Munroe *et al.*, 2005 ; Onsted et Chowdhury, 2014).

4.1.2. La réglementation de l'urbanisation littorale : évolution et efficacité ?

Depuis 1945, l'aménagement du littoral en France peut être divisé en trois périodes principales (Deboudt *et al.*, 2008 ; Le Berre *et al.*, 2017) : celle de la reconstruction et de la « mise en valeur » du littoral jusqu'aux années 1970, l'émergence de la préoccupation environnementale (jusqu'aux années 1990), et une planification urbaine plus intégrée (nos jours).

Avant les années 1970, la France était pleinement occupée à reconstruire les destructions occasionnées par la Seconde Guerre mondiale, notamment dans et à proximité des villes portuaires, tout en investissant dans la modernisation de son économie. Au cours de cette période, dite des « Trente Glorieuses », le littoral a bénéficié d'investissements considérables pour développer son potentiel industriel (notamment dans les zones industrialo-portuaires : Dunkerque, Le Havre, Fos/mer), et touristique comme dans le cadre des missions intégrées du littoral languedocien et de la côte d'Aquitaine (Merckelbagh, 2009 ; Zaninetti, 2006). Dans le même temps, l'accroissement démographique, associé à l'explosion de la mobilité des ménages grâce à l'automobile et à l'élévation de leurs revenus, ont abouti à une urbanisation diffuse, voire désordonnée (Renard, 1984), sur une part importante des espaces littoraux. Favorisées par les lacunes de la réglementation d'urbanisme, ces tendances se sont traduites par d'importants effets dont on tire aujourd'hui les conséquences paysagères (mitage, banalisation), environnementales (consommation et fragmentation des milieux naturels et agricoles) et urbanistiques (étalement urbain et périurbanisation), mais aussi sociales (ségrégation et relégation) (Buhot *et al.*, 2009 ; Lebahy et Le Délézir, 2006 ; Merckelbagh, 2009).

Pourtant, dès les années 1970, l'émergence des préoccupations environnementales, associées à des politiques d'aménagement plus qualitatives – notamment liées, il est vrai, à une perte des moyens financiers de l'aménagement, dans un contexte de crise économique (Le Pape, 1993 ; Merlin, 2002) – s'est traduite par la création de réserves naturelles et surtout des réserves foncières du Conservatoire du littoral (Merckelbagh, 2009). À la même époque, la planification urbaine s'amorce timidement (Le Berre *et al.*, 2016a). Dans le cadre de la Loi d'orientation foncière (LOF) de 1967, les Plans d'occupation du sol commencent à être demandés aux communes qui veulent développer leur territoire. Peu à peu également, les règles d'aménagement du littoral sont définies, précisées et mises en application, aboutissant en 1986 à la promulgation de la loi Littoral (Eymery, 2014 ; Merckelbagh, 2009). Le contrôle de l'urbanisation du littoral qui se met ainsi en place repose sur plusieurs principes (Bordereaux, 2014) : inconstructibilité des espaces naturels sensibles, constructibilité limitée de la bande côtière de 100 m, préservation de coupures d'urbanisation entre les zones bâties, construction en retrait du littoral et en continuité du bâti existant (moins de 200 m).

Cependant, l'efficacité de la loi Littoral dépend de son articulation avec les documents d'urbanisme et de planification territoriale, qui existent depuis la fin des années 1960 (avec la

LOF), mais ne présentent pas de caractère obligatoire, introduisant des disparités entre les communes françaises. Ce n'est donc véritablement qu'à partir des années 2000 qu'une profonde modification du cadre institutionnel a introduit davantage de cohérence et d'efficacité dans le contrôle de l'étalement urbain. Elle repose sur l'encouragement des coopérations intercommunales associé à l'obligation de mettre en œuvre des documents d'urbanisme à deux échelles : le Plan local d'urbanisme (PLU) à l'échelle communale et le Schéma de cohérence territoriale (SCoT) à l'échelle intercommunale (Deboudt *et al.*, 2008 ; Prieur, 2005). Cet effort de cohérence facilite l'intégration des politiques sectorielles du transport, de l'habitat, de l'urbanisme, du développement économique et de l'implantation commerciale. De plus, il impose de respecter les principes de la loi Littoral pour l'urbanisation.

Mais les avis sont contrastés sur les effets de ce dispositif réglementaire à l'échelle locale (DATAR, 2004 ; DIACT, 2007 ; Martinez, 2006), du fait des effets paysagers et fonctionnels manifestes de l'urbanisation résidentielle sur le littoral (fig. 4.1), et en raison de la liberté d'interprétation qu'offre intrinsèquement la loi Littoral pour l'aménagement (Eymery, 2014).



Figure 4.1 : Toutes ces maisons ! Dans de nombreuses communes (ici Porspoder), il est difficile d'apprécier l'effet structurant de la réglementation sur l'urbanisation littorale. Celui des routes est plus tangible (source : LETG-Nautisme en Finistère, juillet 2006).

En effet, le texte de la loi Littoral a été rédigé de manière délibérément vague par le législateur, pour en faciliter l'application à des contextes environnementaux, paysagers et urbains très variés, depuis le littoral de la Manche jusqu'à la Méditerranée ; et pour permettre aux

collectivités de définir elles-mêmes leur projet de territoire (Bordereaux, 2014 ; Prieur, 2005). Cependant, cette phase de transcription régionale de la loi n'a jamais été effectuée (Eymery, 2014 ; Prieur, 2005). Ainsi, pour que ses principes puissent s'appliquer, ils doivent être intégrés dans les documents de planification urbaine (PLU) et dans les documents stratégiques (SCoT). Mais sa mise en œuvre est compliquée par l'accumulation d'instruments réglementaires, aux objectifs parfois concurrents, qui conduisent à d'importants problèmes dans la formulation des procédures de décision (Bordereaux, 2014), et à la multiplication de la jurisprudence (Eymery, 2014). Ainsi laissées à la compétence des autorités municipales, la réglementation du littoral et les politiques foncières et immobilières apparaissent peu cohérentes, et ont entraîné un manque de contrôle de l'évolution de l'usage des sols (Dachary-Bernard *et al.*, 2011 ; DATAR, 2004 ; Robin et Verger, 1996). Cela explique que l'évaluation des effets de la loi Littoral puisse aboutir à des diagnostics si contradictoires. Par exemple, dans un rapport de 2007, la DIACT parvient à la conclusion que, grâce à ses principes innovants, la loi Littoral s'est avérée efficace pour réduire la consommation d'espaces naturels, tout en favorisant le développement économique des régions littorales (DIACT, 2007). En revanche, Faréniaux et Verlhac (2008) considèrent que la pression démographique exercée sans relâche sur le littoral durant les dernières décennies a été très préjudiciable à la mise en œuvre des politiques de planification urbaine et de protection de l'environnement côtier.

Ce contexte, qui motive nos travaux, est également porteur de difficultés méthodologiques pour parvenir à évaluer les effets de la loi Littoral.

4.1.3. *Tout évolue : comment analyser l'effet structurant de la réglementation ?*

L'analyse des effets de la réglementation soulève en effet plusieurs types de difficultés (Thériault *et al.*, 2020).

- L'urbanisation résidentielle résulte des *effets de multiples facteurs* (tab. 4.1, p. 81), qui se combinent ou se compensent. La réglementation figure parmi ces facteurs, car elle distingue plus ou moins strictement les zones à urbaniser des zones non urbanisables (Deboudt *et al.*, 2008 ; Prévost et Robert, 2016), contribuant ainsi à déterminer les investissements dans les infrastructures, qui exercent en retour une influence prépondérante sur le développement résidentiel (Adolphson, 2008). Des méthodes d'analyse multicritère doivent donc être employées ;
- *Tout évolue* (les facteurs déterminants, l'occupation du sol, la réglementation), ce qui nécessite la mise en œuvre de méthodes spatiotemporelles, permettant de contrôler leurs évolutions conjointes ;
- *Les effets de la réglementation sont progressifs ou différés dans le temps* : l'application de la législation nécessite généralement un certain délai, qui dépend notamment d'éventuelles réticences ou oppositions. La matérialisation de ses effets est également décalée dans le temps par rapport à son application effective.

De fait, même lorsqu'elle existe et qu'elle est respectée, la réglementation exerce un effet plus difficile à déceler que celui des facteurs économiques et géographiques classiques (Le Berre *et al.*, 2017 ; Norton, 2005). Par exemple, Onsted et Chowdhury (2014) montrent que l'effet des zonages dépend du contexte plus ou moins urbain de leur mise en œuvre. Cette observation

est confirmée par les travaux de Mimet et al. (2013) qui révèlent que les mesures s'avèrent plus efficaces lorsque la pression urbaine est forte que dans l'espace rural. Le niveau de protection dépendrait alors de l'intensité de l'urbanisation (Prévost et Robert, 2016), sans doute en lien avec la valeur attribuée aux terres agricoles, mais également avec celle des espaces naturels. À l'inverse, Brody et Highfield (2005) montrent que l'intensité de la pression urbaine peut conduire certaines autorités locales à ne pas respecter leurs propres documents de planification pour favoriser le développement urbain. De fait, une difficulté majeure de la réglementation vient du fait qu'il s'agisse d'un exercice dynamique, dont l'articulation avec les projets de territoire est parfois délicate. Loh (2011) décèle ainsi plusieurs faiblesses de la planification urbaine : absence de concomitance entre urbanisation et mise en place de la planification, la première précédant souvent la seconde ; incohérence des objectifs fixés par la planification au regard des pratiques historiques ou du projet de territoire ; absence, volontaire ou involontaire, de respect des principes de planification dans leur application sur le terrain.

Dans ces conditions, nos travaux visent à apporter une contribution à l'analyse des facteurs déterminant l'urbanisation résidentielle sur le littoral. Leurs effets spatiaux sont-ils différenciés ? Comment ont-ils évolué dans le temps ? Est-il possible d'isoler un effet spécifique au littoral sur le territoire du Pays de Brest ? Nous avons accordé une attention particulière à la réglementation de l'urbanisme en nous demandant si elle parvenait à exercer un rôle efficace dans le contrôle des formes d'urbanisation et de leur cohérence, et si ce rôle avait évolué.

4.2. Méthodologie

Pour analyser la contribution des facteurs déterminant l'urbanisation résidentielle, des méthodes de modélisation statistiques sont mises en œuvre. Elles reposent sur l'élaboration d'un SIG permettant de décrire l'évolution spatiale et temporelle de l'urbanisation résidentielle dans le Pays de Brest (cf. §3.2.2), tout en contrôlant les principaux facteurs qui, d'après la littérature, la déterminent.

4.2.1. Modélisation et changement d'occupation du sol

Au sein des familles de modèles souvent distinguées dans la littérature (Agarwal *et al.*, 2002 ; Lambin et Geist, 2006), on peut retenir d'une part les méthodes visant à dégager des règles de transition, et d'autre part celles qui visent à évaluer l'impact vraisemblable de scénarios d'évolution (Thériault *et al.*, 2011), et à explorer de possibles futurs types d'occupation et de paysages (Houet *et al.*, 2009 ; Mas *et al.*, 2014). Les premières peuvent d'ailleurs être intégrées dans les simulations conduites avec les secondes. La première famille comprend les modèles empiriques et statistiques dans lesquels les changements observés sont liés à des variables exogènes. Parmi les modèles employés, les méthodes statistiques constituent une approche particulièrement pertinente (Kestens *et al.*, 2008 ; Kirk *et al.*, 2011), dans la mesure où elles permettent de tester la contribution relative de chaque variable au modèle, tout en contrôlant leurs rétroactions du fait qu'elles peuvent être associées les unes aux autres (Thériault *et al.*, 2011 ; Wang *et al.*, 2013).

4.2.2. *L'approche foncière, une échelle pertinente pour analyser l'évolution du bâti*

Pour l'étude de l'évolution urbaine, l'approche foncière prend toute sa pertinence, car elle s'appuie sur un référentiel dont les entités (les parcelles cadastrales) correspondent au découpage élémentaire du territoire (Manson *et al.*, 2009 ; Poinso, 2008). D'une certaine manière, la parcelle est en effet l'entité de base à partir de laquelle les acteurs de l'aménagement du territoire et de l'urbanisme appliquent leurs décisions relatives à l'usage des sols (Geniaux *et al.*, 2009). C'est aussi l'échelle à laquelle les ménages élaborent et concrétisent leur projet résidentiel, en y intégrant les critères qui leur sont propres, notamment en termes de capacité d'investissement, d'accessibilité à leurs emplois, services (écoles, commerces, etc.) et aménités (Bell et Irwin, 2002). Par ailleurs, c'est le niveau de base auquel s'applique la réglementation relative à l'affectation des sols, qu'elle se rapporte à l'urbanisme, à l'économie ou à l'environnement. Elle correspond notamment, en France tout au moins, à l'entité à laquelle s'appliquent les permis de construire avec toutes les contraintes qui y sont associées (affectation des sols, coefficient d'occupation du sol, règles architecturales et paysagères, etc.). Enfin, c'est un niveau très pertinent pour la description fine de l'usage des sols, dans la mesure où les espaces résidentiels périurbains présentent souvent de faibles densités qui ne sont pas toujours bien décrites par d'autres sources (Bhatta, 2012 ; Sparfel *et al.*, 2011).

De plus, grâce à l'enregistrement des mises en construction, les données foncières permettent de reconstituer l'historique de l'étalement urbain et, plus généralement, de la vaste transformation socio-économique, et par conséquent territoriale, qui va profondément transformer les paysages de la France à partir des années 1950 (Dézert, 1991). Enfin, un autre apport des données foncières réside dans la possibilité d'analyser les territoires à des échelles variées, en fonction des problématiques traitées, qu'elles soient locales ou intercommunales notamment en lien avec l'évolution des agglomérations (Rousseaux, 2009 ; Zaninetti et Andrieu, 2018), ou même régionales (Reux, 2017 ; Vimal *et al.*, 2012). L'échelle de la parcelle permet ainsi de relier les décisions individuelles d'usage du sol avec les formes urbaines qu'elles contribuent à produire (Irwin *et al.*, 2009).

4.2.3. *Construire une base de données décrivant l'urbanisation du littoral et son évolution*

Le choix des variables repose sur les éléments identifiés dans la littérature et doit éviter d'introduire de la multicollinéarité (redondance d'information entre variables). Il s'agit donc de variables indépendantes prises en compte simultanément (El Sanharawi et Naudet, 2013 ; Hosmer et Lemeshow, 2000 ; Rakotomalala, 2013).

L'élaboration de la base de données repose sur trois étapes (Le Berre *et al.*, 2016a) : 1) l'évaluation de l'état de développement de chaque parcelle (déjà construite ou disponible) année par année, qui constitue la variable dépendante dans notre modélisation ; 2) la description du contexte de l'évolution urbaine et périurbaine des points de vue physique, environnemental et réglementaire (variables explicatives) ; 3) le filtrage des parcelles disponibles, en fonction des restrictions d'usage du sol liées à la réglementation en vigueur et à certains aménagements, pour ne conserver, année après année, que les parcelles aptes à la construction. Chaque variable explicative a fait l'objet d'une description précise de manière notamment à en vérifier l'exhaustivité (absence de données manquantes) et la qualité (absence

de biais de classification). Lorsque c'était nécessaire et possible, ces variables ont été datées (Le Berre *et al.*, 2016a). L'étude est menée sur la période 1968-2008 sur le Pays de Brest.

Sources de données exploitées

L'élaboration de la base de données a clairement bénéficié de la libéralisation des données du RGE et de celles du cadastre. Ces données permettent en effet d'entreprendre une analyse à l'échelle de la parcelle foncière, très pertinente pour comprendre les dynamiques d'urbanisation résidentielle. La disponibilité de l'information géographique permet également de pouvoir renseigner des descripteurs pertinents des parcelles (caractéristiques intrinsèques) et de leur environnement : accessibilité et voisinage (Can, 1992). Les sources de données exploitées sont décrites en détail dans deux publications (Le Berre *et al.*, 2016a, 2016b).

La description du foncier repose sur deux jeux de données cadastrales anonymisés, obtenus auprès des services de l'État. Du Plan cadastral informatisé (PCI) ont été extraites l'ensemble des parcelles foncières du Pays de Brest, qui ont ensuite été renseignées par leur date de mise en construction provenant de la base MAJIC version 2015. Des couches thématiques de la BD TOPO® ont été extraits les thèmes suivants : limites communales, réseau routier, ainsi que certaines entités utiles à la production des filtres d'inconstructibilité. Les pôles urbains ont été hiérarchisés en trois niveaux à partir de l'analyse de l'organisation du territoire par les services marchands et non marchands proposée dans le rapport de présentation du SCOT du Pays de Brest⁴⁸. Pour les établissements scolaires, nous avons obtenu du ministère de l'Éducation nationale une base de données contenant les dates d'ouverture et de fermeture de l'ensemble des établissements français entre 1963 et 2012.

Outre les parcelles déjà bâties, les parcelles inconstructibles ont été filtrées. Les modes d'*usages du sol incompatibles ou restreints* comprennent les grands équipements (cimetières, emprises ferroviaires, portuaires et aéroportuaires) extraits de la BD TOPO®, auxquels ont été ajoutés les sites militaires (dont l'emprise est importante dans le Pays de Brest) et les carrières. Les zones de protection des risques (établissements classés et sites SEVESO), qui se traduisent par une exclusion réelle de la construction, ont été délimitées à l'aide des données de la DREAL cataloguées sur l'IDG GéoBretagne⁴⁹. Les couches d'information géographique relatives à la protection de l'environnement et les zones de conservation (arrêté de biotope, terrains du Conservatoire du littoral, espaces naturels sensibles, forêts, périmètres de captage d'eau, réserves nationales, sites classés) ont été collectées à partir du site Carmen⁵⁰ administré par le Ministère de l'Environnement. Les données statistiques économiques, démographiques, et sociales ont été collectées auprès de l'Insee⁵¹. En tant qu'établissement de recherche, nous avons bénéficié du Réseau Quetelet, une des composantes de la très grande infrastructure de

⁴⁸ Agence d'urbanisme de Brest Bretagne, <http://www.adeupa-brest.fr/>

⁴⁹ IDG GéoBretagne, <http://cms.geobretagne.fr/>

⁵⁰ <http://carmen.naturefrance.fr/>

⁵¹ <http://www.insee.fr>

recherche Progedo ayant pour but la Production et la gestion des données en sciences humaines et sociales⁵².

Élaboration de la base de données

Diverses procédures d'analyse spatiale, de simulation de déplacements sur les réseaux routiers, de géotraitements et de filtrages ont été effectuées sur ArcGIS et ses extensions pour calculer et mettre à jour les attributs de chaque parcelle au début de chaque période de temps (fig. 4.2).

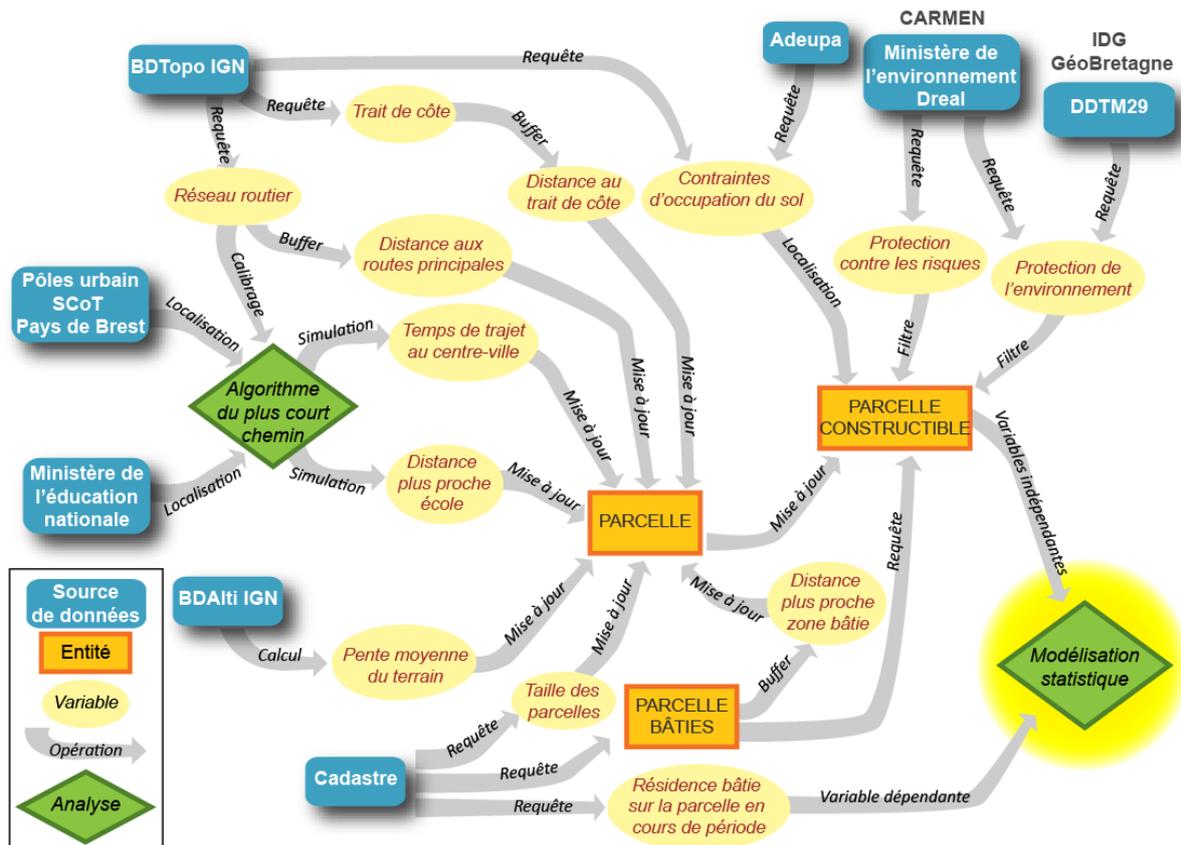


Figure 4.2 : Procédure d'intégration des données sur la construction résidentielle dans le référentiel cadastral (Le Berre et al., 2016b)

Chaque parcelle est décrite par les caractéristiques suivantes : taille, date de construction, altitude moyenne (calculée à partir du MNT de la BD Alti®). Son environnement est caractérisé par trois distances euclidiennes (à la route principale la plus proche, aux pôles urbains, à la mer, et à la zone d'habitation la plus proche au début de la période), et par des critères d'accessibilité calculés sous ArcGIS avec l'extension *Network Analyst* (Thériault et al., 1999), en utilisant la BD TOPO® IGN.

Les parcelles disponibles (non bâties) ont été sélectionnées et filtrées, pour définir celles qui étaient constructibles au début de chaque période censitaire. Lorsqu'une restriction,

⁵² www.progedo.fr

permanente ou s'appliquant à partir d'une date donnée, affecte des parcelles, et lorsque celles-ci sont déjà construites au début d'une période, elles sont exclues du modèle statistique.

La base de données ainsi constituée est structurée sous forme d'une couche d'information géographique dont la table attributaire est ensuite exploitée par des méthodes de modélisation statistique. Elle contient 415 436 parcelles décrites par trois catégories de variables (tab. 4.2).

Tableau 4.2 : Variables décrivant les parcelles foncières du Pays de Brest (1968-2008) (Le Berre et al., 2016a)

Catégorie	Variable	Source de la donnée
Caractéristiques des parcelles	Année de mise en construction	PCI / MAJIC
	Superficie	Calcul à partir du PCI
	Pente moyenne	Calcul à partir de la BD ALTI IGN
Environnement et accessibilité	Distance à la mer	Calcul à partir du trait de côte Histolitt
	Distance au bâti préexistant	Calculée à partir des zones bâties (PCI)
	Distance au réseau routier	Calculée à partir de la BD TOPO IGN
	Temps d'accès automobile aux centres urbains	Modèle d'accessibilité (Network Analyst / BD TOPO IGN / Pôles urbains SCOT)
Filtres	Temps d'accès piéton aux établissements scolaires	Modèle d'accessibilité (Network Analyst / BD TOPO IGN / BD Établissements scolaires ministère de l'Éducation nationale)
	Terrains inconstructibles exclus de l'analyse	BD TOPO IGN (cimetières, aéroports, ports), DDTM29 (terrains militaires, Sites SEVESO, Plans de prévention des risques technologiques et des risques inondation), MAJIC (carrières), Adeupa (Zones d'activité)
	Réglementation environnementale	CARMEN/DREAL (arrêtés de protection de biotope, réserves naturelles, forêts, sites classés), GEOBretagne (terrains du Conservatoire du littoral, espaces naturels sensibles), DDTM29 (périmètres de captages d'eau)

Parmi les caractéristiques des parcelles, l'année de mise en construction constitue la variable dépendante de nos analyses (celle que l'on cherche à expliquer). 50 869 parcelles étaient déjà construites en 1968, pour 124 218 en 2008. On constate donc que 60,6 % du bâti résidentiel est postérieur à 1968, et que la part de l'occupation résidentielle s'est accrue de 3,3 % (5217 ha) à 8,5 % (13549 ha) de la surface cadastrée, soit 2,5 fois plus en 40 ans (1968-2008). Le rythme de construction (fig. 4.3) montre des cycles qui peuvent être corrélés à une combinaison complexe de paramètres conjoncturels locaux (démographiques, restructuration de la Défense nationale (Le Roy, 2009), et nationaux : crises économiques, taux d'intérêt des prêts immobiliers, coûts de la construction (Friggit, 2014). On voit que le Pays de Brest est arrimé aux dynamiques nationales et régionales, malgré un effet de décrochage perceptible (Lebahy et Le Délézir, 2006) qui pourrait se matérialiser à travers la plus faible croissance de construction après 2000.

Au-delà de ce constat, l'établissement des causalités de ces évolutions passe par l'analyse statistique. Cette analyse a été conduite en trois temps. En premier lieu, une régression logistique a permis d'évaluer l'influence de chaque variable sur la construction résidentielle et d'en analyser l'évolution temporelle. Une deuxième étape a reposé sur une analyse de survie pour affiner la compréhension des évolutions conjointes de la réglementation et la construction résidentielle. Enfin, une troisième étape a porté sur l'évolution des formes d'urbanisation et de leur cohérence en associant l'analyse de survie à un modèle de diffusion spatiale à la Hägerstrand (1967).

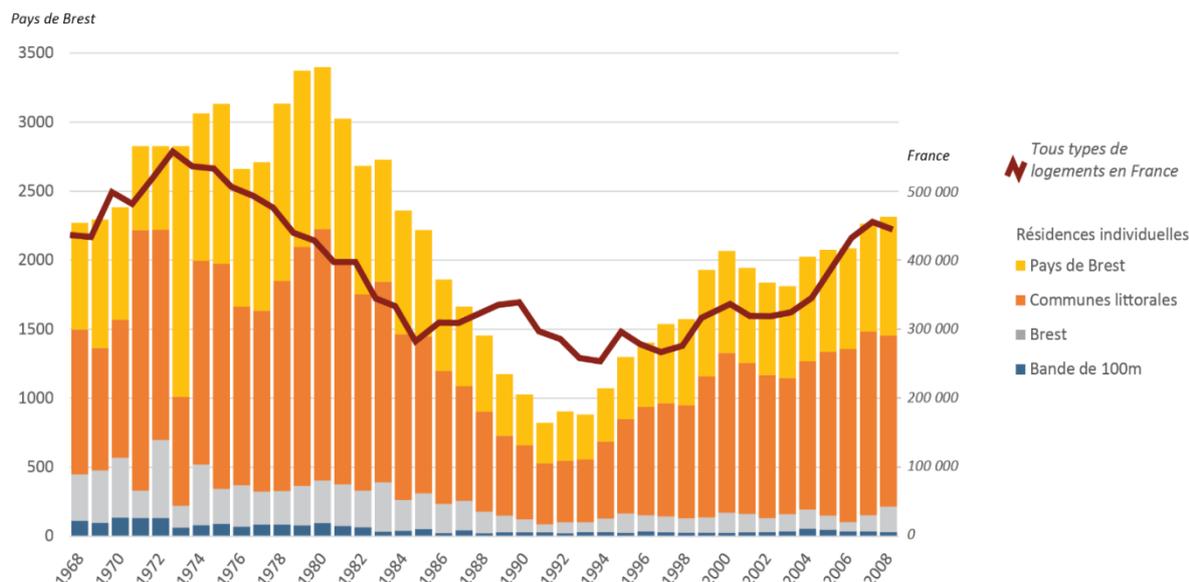


Figure 4.3 : Mises en construction résidentielle entre 1968 et 2008 (d'après Friggit, 2014 et DGFIP, 2015)

4.3. Trois approches de modélisation, pour trois types de questionnements

4.3.1. Le littoral exerce-t-il un effet sur l'urbanisation résidentielle ?

Le premier modèle réalisé (Le Berre *et al.*, 2016a), avait pour but d'analyser les facteurs qui influencent la probabilité de construction sur les terrains vacants du littoral, leur évolution dans le temps et leur variabilité spatiale.

La méthode utilisée repose sur la production d'un modèle de régression logistique binaire (Hosmer et Lemeshow, 2000), visant à évaluer les principaux facteurs influençant la construction résidentielle en évaluant leur importance respective. Le choix de la régression logistique se fonde sur le fait que la variable à expliquer est qualitative, et même binaire : la parcelle a-t-elle été construite ou pas ? De plus, la régression logistique permet d'estimer une valeur de cote qui décrit l'influence de chaque variable explicative sur la variable dépendante. Cette méthode permet par conséquent de calculer une probabilité de construction pour l'ensemble des parcelles constructibles du Pays de Brest.

Elle repose sur des modèles transversaux, permettant de tester les variations de coefficients des valeurs de cote entre cinq périodes intercensitaires (1968-74, 1975-81, 1982-89, 1990-1998, 1999-2008). L'intérêt des données des recensements est de permettre d'intégrer des effets fixes au modèle. En effet, faute de disposer de l'ensemble des variables pertinentes pour calculer la probabilité de construction (notamment le coût du foncier, indisponible pour l'ensemble de la période traitée), l'introduction de variables spatialisées permet d'éviter de générer des modèles spatiaux incompatibles avec l'indépendance entre les observations, supposée par le modèle logistique. Les données des recensements permettent alors de rattacher les probabilités calculées à l'échelle communale, donc de les restituer dans leur contexte socio-économique local et historique.

L'analyse réalisée montre que les critères d'accessibilité aux services (centres urbains, écoles) figurent parmi les plus déterminants (tab. 4.3). La distance au bâti existant devient un facteur particulièrement important au cours de la période analysée, témoignant d'un renforcement de la cohérence de l'urbanisation. La distance à la mer, quant à elle, ne figure qu'en cinquième position, et surtout son influence a fortement diminué entre le début et la fin de période. Elle a été presque divisée par trois. Les plus forts rapports de cote s'établissent en retrait du littoral (101-200 m), au lieu de la bande côtière de 100 m comme en début de période.

Tableau 4.3 : Classement des variables déterminant l'urbanisation résidentielle par influence décroissante

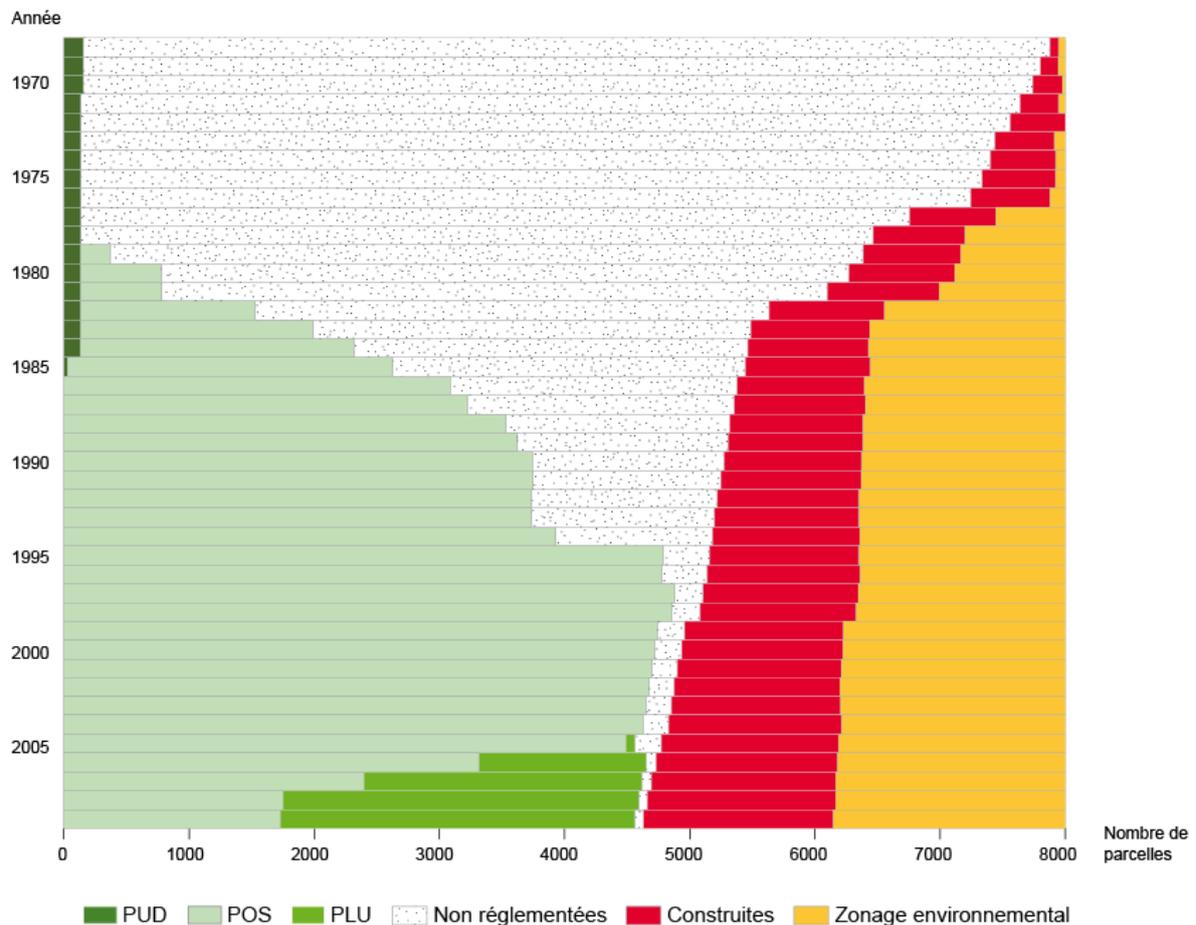
Variable	Référence (rc = 1)	Rapport de cote 1968-1975	Rapport de cote 2000-2008
Accessibilité aux centres urbains	< 8 min.	6,6 (12,1-16 min.)	55,3 (56,1-60 min.)
Distance au bâti	> 400 m	2,8 (0-100 m)	38 (0-100 m)
Superficie des parcelles	> 3000 m ²	4,7 (301-400 m ²)	21,2 (751-1000 m ²)
Accessibilité aux écoles	> 5000 m	4,0 (0-500 m)	11 (0-500 m)
Distance à la mer	> 1000 m	5,3 (0-100 m)	1,8 (101-200 m)
Pente	> 15°	1,4 (0-5°)	9 (0-5°)
Distance aux routes	> 300 m	1,2 (151-200m)	1,4 (101-150 m)

Il ressort de cette première modélisation que le littoral a effectivement été très attractif pour la construction résidentielle, mais que celle-ci a fortement diminué entre les années 1970 et 1990. La modélisation met également en évidence le report concomitant de la construction en retrait du littoral (100-200 m). Mais le modèle transversal employé ne peut être conclusif quant au rôle de la loi Littoral, car les cinq modèles sont ajustés séparément, et les périodes intercensitaires analysées ne présentent pas la granularité temporelle adaptée, notamment au regard des dates clefs de l'évolution de la réglementation. Ces modèles ne permettent donc pas de spécifier explicitement le statut de chaque parcelle et de chaque commune au regard de la loi Littoral et de la planification urbaine. Surtout, la modélisation logistique n'est pas appropriée pour l'analyse de variables qui évoluent continuellement dans le temps.

4.3.2. La réglementation protège-t-elle efficacement les espaces littoraux contre l'étalement urbain ?

La plupart des variables et des statuts de planification associés aux parcelles foncières évoluent dans le temps, de même que leurs contributions au changement d'affectation des sols. Certaines parcelles peuvent tomber sous le coup de protections environnementales et devenir inconstructibles ; des parcelles agricoles peuvent être vouées à l'urbanisation par l'établissement de nouveaux zonages, etc. De plus, il existe généralement un décalage entre la promulgation de la réglementation et sa prise d'effet. Ce délai peut être dû à des contraintes techniques de mise en application de textes généraux – par exemple, la loi Littoral est une loi-cadre qui nécessite des textes précisant son contenu, ses principes doivent être intégrés dans les outils de planification urbaine – ou bien à une résistance à des législations nationales considérées comme inappropriées à l'échelle locale, ou défavorables aux projets de développement des territoires (Prévost et Robert, 2016).

La figure 4.4 montre ainsi l'évolution des statuts des 8000 parcelles situées dans la bande côtière de 100 m du Pays de Brest entre 1968 et 2009. Elle témoigne de l'intégration progressive du foncier littoral dans les zonages de planification urbaine (PUD, POS, PLU), ainsi que le renforcement des dispositifs de protection de l'environnement. On y voit aussi l'augmentation du nombre de parcelles construites.



Analyse effectuée sur les 8000 parcelles de superficie comprise entre 200 à 2000 m² situées dans la bande littorale de 100 m

Figure 4.4 : Évolution du statut du foncier littoral entre 1968 à 2009 dans le Pays de Brest en fonction de la planification urbaine (Le Berre et al., 2017)

Mais, cette figure ne fournit qu'une description des événements et des statuts. Elle n'informe pas sur les relations entre ces évolutions, notamment sur le fait que le déploiement de la réglementation (changements de statut) entre en concurrence avec l'urbanisation, faisant ainsi varier la probabilité de construction des parcelles non construites et toujours disponibles.

Une méthode efficace pour gérer ce type d'évolutions conjointes est fournie par l'*analyse de survie* (Wang et al., 2013). Il s'agit d'une méthode de modélisation de la probabilité de transition d'un état à un autre (par exemple la vie et la mort...) d'une variable à travers le temps, compte tenu de variables indépendantes décrivant sa situation individuelle (Vandersmissen et al., 2009).

Cette transition est décrite par deux fonctions :

- Une fonction de survie qui est la probabilité que l'événement ne se produise pas durant la période considérée. Elle est représentée sous forme d'une courbe de survie associant l'événement attendu (par ex. la construction d'une parcelle) avec le temps écoulé à partir d'un moment spécifié (par ex. la mise en place d'une réglementation).
- Une fonction de risque (*hazard function*), qui est la probabilité conditionnelle que l'événement se produise durant cette période (Bell et Irwin, 2002) : pour chaque variable indépendante sont calculés un rapport de cote et la probabilité que l'événement observé survienne (Thériault *et al.*, 2007). L'interprétation des modèles de survie est donc similaire à celle de la régression logistique (Wang *et al.*, 2013).

Ainsi, l'analyse de survie offre-t-elle la possibilité de traiter de phénomènes spatiotemporels complexes, intégrant des variables ayant leur dynamique temporelle propre, et pouvant s'influencer mutuellement. Elle permet alors d'analyser ces influences, qu'elles soient cumulatives ou soustractives, combinées ou concurrentes (An et Brown, 2008).

Dans le cas qui nous concerne, c'est la capacité des parcelles foncières à « survivre » au risque de construction résidentielle qui est testée. Les facteurs de risque sont ceux qui génèrent (ou atténuent) le risque de construction : proximité du littoral, accessibilité, évolution de la réglementation, etc. L'évolution du statut des parcelles foncières au regard de ces facteurs (construction, changement de statut ou d'occupation) a été enregistrée année par année, réduisant le nombre de parcelles constructibles de 328 319 en 1967, à 237 996 en 2010. Comme il est peu probable que les parcelles les plus petites et les plus grandes soient aménagées, et comme nous ne disposons pas des données décrivant la subdivision ou le regroupement des parcelles dans le temps, nous avons limité notre étude aux parcelles de taille comprises entre 200 et 2000 m² (soit 163 247 parcelles en 1967). Ce choix donne lieu à un échantillon de 61 528 événements de construction de logements, 10 449 parcelles retranchées de l'effectif par un changement de statut ou d'occupation (dites « censurées à droite ») entre 1968 à 2008, et 91 270 parcelles encore disponibles en 2009.

Pour permettre une modélisation longitudinale, la base de données a été convertie d'un format large (une ligne par parcelle) au format long (une ligne par combinaison parcelle-année). Elle comprend donc 5 221 429 lignes de parcelles-années. Pour étudier l'effet des lois et des règlements, chaque ligne est caractérisée par les événements de construction, d'occupation, de planification et de statuts, année par année. Au cours de la période étudiée, la plupart des parcelles ont ainsi changé de statut, justifiant d'autant l'analyse de survie pour comparer les processus.

La figure 4.5 présente la courbe de survie établie en fonction de la distance à la mer. Elle représente l'évolution de la part des parcelles ayant succombé au risque (parce qu'elles ont été construites) entre 1967 et 2008. On y voit que les parcelles proches du rivage ont un taux de survie plus élevé que les parcelles qui en sont éloignées. Un premier décrochage s'observe dès 1972, et un second en 1981. Ces décrochages témoignent d'une certaine précocité du ralentissement de la construction sur la frange côtière par rapport, notamment, à la promulgation de la loi Littoral (1986, donc postérieurement).

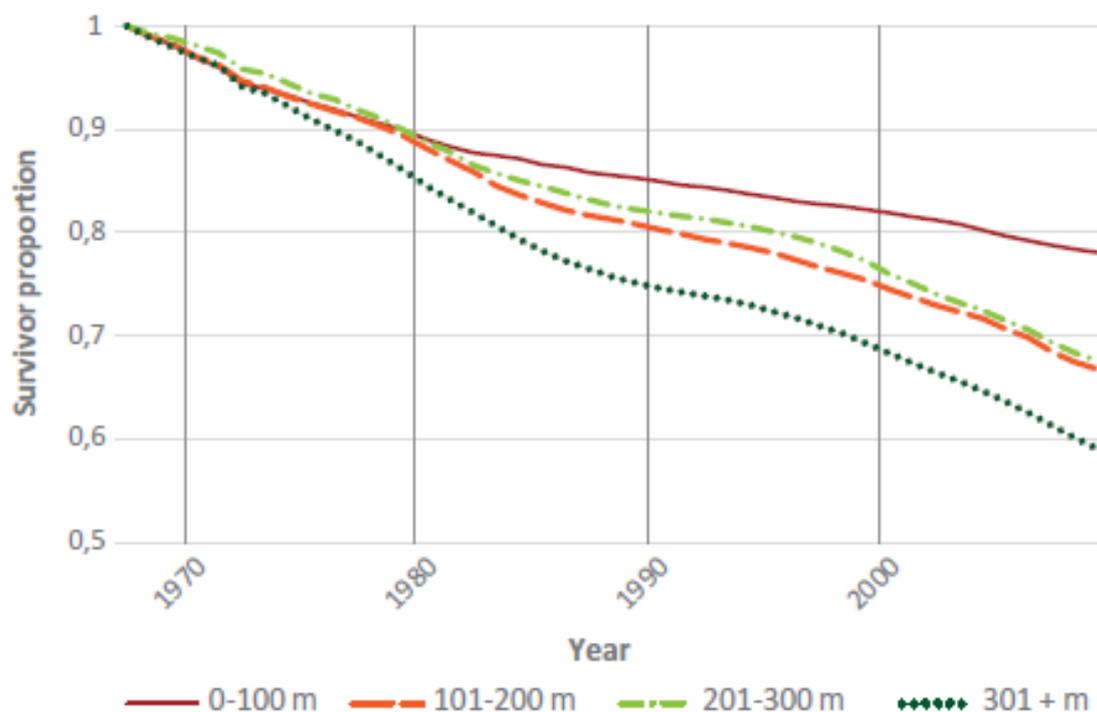


Figure 4.5 : Courbe de survie en fonction de la distance à la mer ($200 < \text{parcelles} < 2000 \text{ m}^2$)

L'analyse réalisée permet d'aboutir à plusieurs conclusions (Le Berre *et al.*, 2017). Tant qu'aucune réglementation ne s'y applique, c'est-à-dire jusqu'au milieu des années 1970, les parcelles du littoral se développent plus rapidement que celles de l'intérieur. Mais cette tendance s'inverse dès le début des années 1980, bien que la promulgation de la loi Littoral ne semble associée à aucun effet immédiat. En revanche, la protection du littoral apparaît plus précoce dans les communes dotées d'un document de planification urbaine, dont la mise en place commence à partir de 1978 dans le Pays de Brest. Localement, les documents de planification semblent donc avoir plus d'influence que la loi Littoral. Il faut toutefois reconnaître que les notions qu'elle intègre ont été conçues au cours des années 1970 (Eymery, 2014 ; Prieur, 2005) et que leur mise en application a parfois précédé la promulgation de cette loi. De plus, ces notions ont progressivement renforcé la planification urbaine, notamment par l'obligation de les intégrer dans les documents associés (POS, PLU, puis SCoT). Enfin, on observe que l'émergence progressive des préoccupations environnementales au cours des années 1970 et 1980 a également renforcé les politiques de gestion et de protection du littoral. Dans le Pays de Brest, c'est en effet près du quart (23 %) du foncier de la bande côtière de 100 m qui est protégé à ce titre.

Globalement, grâce à l'ensemble de ces dispositifs, le risque de construction résidentielle en bord de mer (bande de 100 m) a été réduit par deux au cours de la période considérée. Mais cette évolution masque des effets complémentaires, voire concurrents (protection environnementale *versus* contrôle de l'urbanisation), dont les effets peuvent se masquer mutuellement et qu'il n'est pas aisé de démêler. Pour prolonger cette analyse, une troisième approche de modélisation a été développée. Elle se concentre sur l'évolution des formes

d'urbanisation et de leurs déterminants, considérant que la réglementation a davantage pour but de structurer et de contrôler l'urbanisation, que de la limiter (Thériault *et al.*, 2020).

4.3.3. L'urbanisation devient-elle de plus en plus rationnelle ?

Comme l'ont démontré les analyses précédentes, lorsque l'aménagement du territoire est efficace, le risque de construction d'une parcelle est plus fort à proximité des parcelles déjà bâties (Le Berre *et al.*, 2016a, 2017). Par conséquent, ce risque varie non seulement à la suite des événements réglementaires ou des changements d'occupation survenus au cours du temps, mais également en fonction des effets préalables qu'ils ont pu exercer sur les parcelles de leur voisinage spatial et temporel. Comme ces effets peuvent être décalés par rapport à la promulgation des textes, du fait de contraintes technico-administratives ou des oppositions locales qu'ils suscitent, ils produisent un bruit aléatoire difficile à analyser. Il s'agit donc d'un cas d'application de la théorie de la diffusion spatiale (Hägerstrand, 1967), qui postule que l'adoption d'une innovation (l'urbanisation résidentielle) s'étend en continuité, ou par bonds (*leapfrogs*), jusqu'à saturation (ralentissement de la croissance ou redéveloppement).

L'objectif est de tester plusieurs hypothèses concernant ce processus de diffusion (fig. 4.6). Notre postulat est que l'aménagement a pour vocation de minimiser l'étalement urbain ainsi que ses effets environnementaux et socio-économiques néfastes, en promouvant la construction à proximité des zones bâties, donc leur densification et leur cohérence. En effet, l'éparpillement résidentiel est généralement considéré dans les politiques d'aménagement comme une forme urbaine "coûteuse" (Pouyanne, 2014), accusée de consommer inconsidérément les terres agricoles et naturelles (Zoppi et Lai, 2014), de les fragmenter et par conséquent d'altérer le fonctionnement des exploitations agricoles et des écosystèmes (Irwin et Bockstael, 2007 ; Munroe *et al.*, 2005), d'imposer aux ménages une forte mobilité (Charmes, 2007b), donc d'être producteur de gaz à effets de serre et à l'origine d'une forte demande d'infrastructures (Des Rosiers *et al.*, 2017). Il peut également se traduire par des effets sociaux de ségrégation et de relégation (Charmes, 2007a ; EEA, 2006a ; Ewing, 2008 ; Paül et Tonts, 2005). À l'inverse, l'extension en continuité de l'urbanisation existante est considérée comme plus rationnelle. Elle permet en effet de répondre à la demande de logements accessibles et centraux, tout en optimisant l'usage des services de proximité existants, et des infrastructures voisines qu'il n'y a qu'à étendre (Delattre *et al.*, 2012). À l'encontre des choix des ménages, favoriser la continuité du bâti est par conséquent un objectif annoncé de planification urbaine pour répondre à ses enjeux multiformes, qu'ils soient fonctionnels (limitation des transports et ville durable), économiques (intégrité du foncier et productivité agricole) ou environnementaux (protection de l'intégrité des écosystèmes) (Salvati *et al.*, 2012).

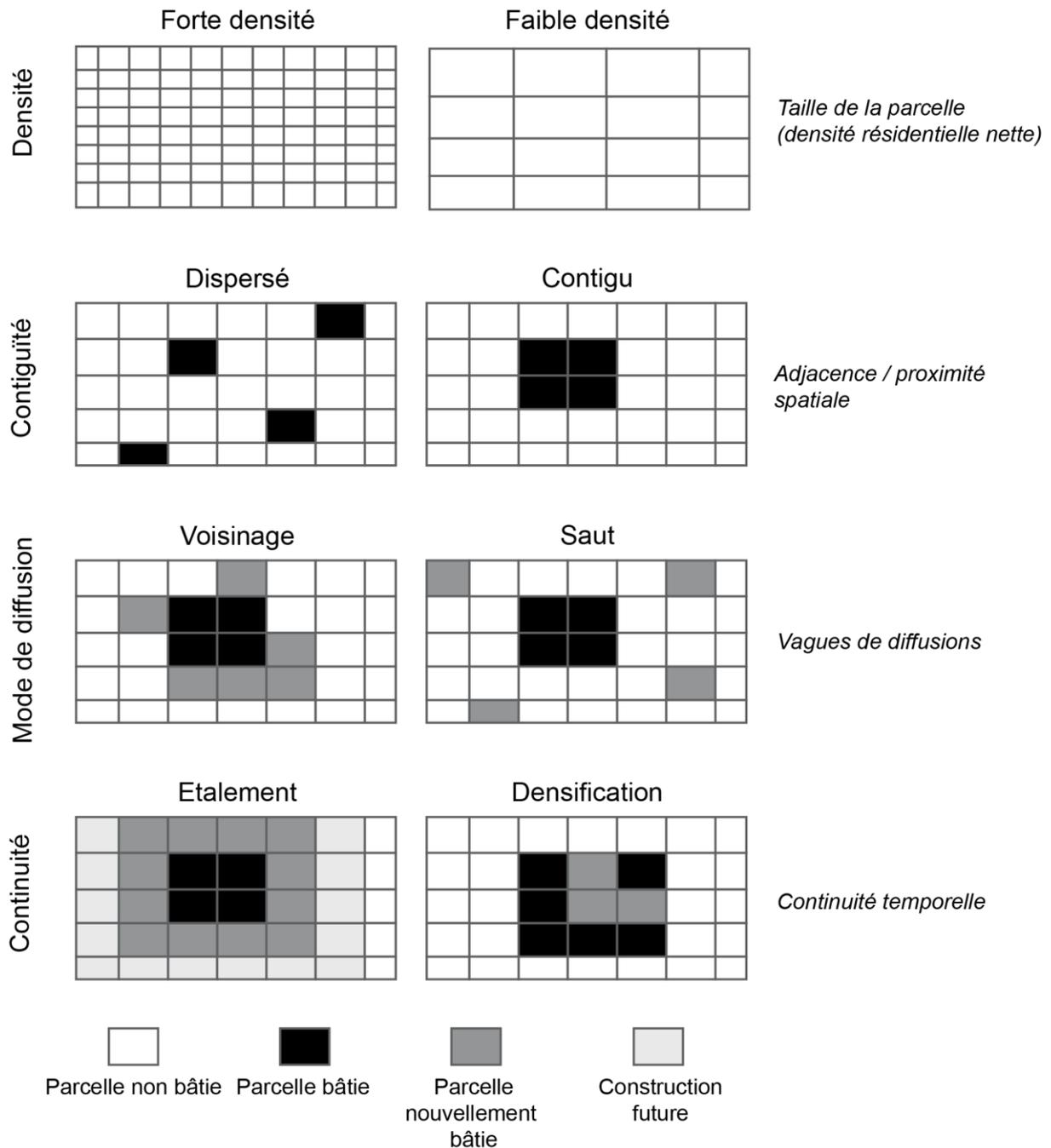


Figure 4.6 : Hypothèses de diffusion spatiale de l'urbanisation résidentielle (Thériault et al., 2020)

La modélisation est appliquée à partir de la base de données développée dans les deux applications précédentes (Le Berre *et al.*, 2016a, 2017), complétée par des indicateurs spatiotemporels de diffusion de l'urbanisation résidentielle. Cinq nouvelles variables spatiotemporelles (tab. 4.4) ont été calculées par des méthodes d'analyse spatiale, considérant les voisinages spatiaux et la distribution préalable du bâti résidentiel. Pour chaque année, les distances euclidiennes sont calculées depuis le centre de la parcelle en utilisant des zones tampons pour sélectionner des maisons construites précédemment dans des rayons donnés. Seule la surface de la parcelle est statique, car elle est utilisée pour évaluer la densité résidentielle nette. Les autres indicateurs varient dans le temps : distance au plus proche

voisin, contiguïté spatiale, mode de diffusion, continuité temporelle. Enfin, deux variables indiquent les statuts de planification et de construction pour chaque combinaison de parcelle et d'année.

Tableau 4.4 : Variables du modèle de survie

Nom	Variable	Spécification	Temporel
Localisation/Accessibilité			
Littoral (DS)	Parcelle située dans la bande littoral de 100 mètre	Variable muette (la référence est en dehors de la bande)	Statique
Brest (DB)	Distance-temps en voiture de Brest (minutes)	<8 ; 8.1-12 ; 12.1-16 ; 16.1-20 ; 20.1-24 ; 24.1-28 ; 28.1-32 ; >32 (référence)	Statique
Centre (DC)	Distance-temps en voiture du pôle de service de 2 nd ou 3 ^{ème} ordre (minutes)	<2 ; 2.1-4 ; 4.1-6 ; 6.1-8 ; 8.1-10 ; >10 (référence)	Statique
Ecole (SL)	Distance à pied à l'école la plus proche (mètres)	<500 ; 501-1000 ; 1001-1500 ; 1501-2000 ; >2000 (référence)	Variable temporelle
Densité urbaine			
Superficie de la parcelle (PA)	Taille de la parcelle (m ²), en tant qu'indicateur de densité résidentielle nette	Polynome continue de 4 ^{ème} ordre	Statique
Proximité au plus proche voisin			
Plus proche voisin (NN)	Distance au voisin le plus proche 1 an avant l'évaluation du risque	Moins de 100 m (référence) ; 100-200 m ; >200 m	Variable temporelle
Contiguïté spatiale			
Dispersé vs. contigu (SC)	Part des parcelles bâties dans un rayon de 100 m, 3 ans auparavant	logarithme ; polynome de 2 nd ordre	Variable temporelle
Mode de diffusion			
Croissance en continuité vs. à distance (DM)	Ratio de la part des parcelles bâties à moins de 100 sur celles moins de 300 m, 3 ans auparavant	logarithme ; polynome de 4 ^{ème} ordre	Variable temporelle
Continuité temporelle			
Cohérence vs. mitage (TC)	Part des maisons de plus de 5 ans dans un rayon de 300 m, 1 an auparavant	Continuous 4 th order polynomial	Variable temporelle
Statut de la parcelle			
PS	Statut réglementaire	A: non réglementé B: Loi littoral seulement C: Planification seulement D: Loi littoral et planification	Variable temporelle
BU	Parcelle construite (échec)	Variable muette (référence : non construite-disponible)	Variable temporelle

La base de données longitudinale comporte ainsi 340 paramètres, reliés à 9 variables indépendantes décrivant 5 périodes et 4 dispositifs de planification. Les 16 combinaisons produites permettent d'évaluer le risque marginal (probabilité de construction) des parcelles exposées au risque.

En raison de leur dimension spatiotemporelle, le test de ces hypothèses repose à nouveau sur une analyse de survie. La modélisation évalue l'effet marginal de chaque variable sur le risque de construction d'une parcelle en tenant compte du temps écoulé, de la localisation et de la taille de la parcelle, ainsi que de l'évolution récente des parcelles voisines. Les variables de localisation (distance aux centres urbains, à la mer, etc.) sont ici employées comme variables de contrôle. Les résultats les plus intéressants concernent les variables de diffusion. Les autres résultats sont présentés en détail dans Thériault et al., 2020.

Pour faciliter leur interprétation, ces résultats sont exprimés sous forme graphique, dont la figure 4.7 présente trois exemples. On observe (fig. 4.7a) une diminution notable et constante de la probabilité de construction des parcelles les plus petites entre 1983 et 2009. Après 2000, les principales différences sont une probabilité légèrement plus élevée de développer des parcelles plus petites (pénurie de terres) lorsque la loi Littoral se combine aux règlements (statut D), et une probabilité plus faible de développer de grands terrains (densification) dans les municipalités intérieures dotées d'une planification urbaine (statut C). Ainsi, les règlements municipaux et de planification augmentent légèrement la densité urbaine dans ces municipalités. La figure 4.7b montre une forte augmentation de la contiguïté spatiale de l'urbanisation dans les communes côtières, tendance qui se renforce significativement entre 2000 et 2009 dans les communes non dotées d'un document de planification. Cela témoigne d'un renforcement de la cohérence de l'urbanisation dans les communes littorales. La figure 4.7c montre quant à elle que l'étalement urbain dominait dans les années 1980, particulièrement dans les communes intérieures dotées d'un document de planification (C), tandis qu'il était beaucoup plus faible dans les municipalités côtières (B et D). Les périodes suivantes montrent une séparation des tendances entre l'accroissement du risque d'étalement urbain dans les communes dotées d'un document de planification, et une tendance au regroupement dans celles qui n'en sont pas dotées. Cet apparent paradoxe s'explique par le fait que la planification urbaine est probablement motivée par une volonté de favoriser l'urbanisation. Dans les territoires où la pression démographique et urbaine est moindre, la planification n'est pas considérée comme indispensable. C'est donc le règlement national d'urbanisme qui s'applique : par sa valeur coercitive, il tend à restreindre les possibilités d'étalement urbain, donc à renforcer la cohérence de l'urbanisation.

Dans la région de Brest, la densité des zones résidentielles n'a pas augmenté au cours des trente dernières années, et la probabilité de construire sur des parcelles plus petites est plus faible aujourd'hui. En outre, l'étalement urbain tend à s'accroître dans les municipalités dotées de documents de planification, tandis que les plus petites, sans plan urbain en raison d'une faible pression immobilière, sont soumises à l'obligation de cohérence urbaine imposée par le RNU. Tous ces résultats concourent à montrer que le rôle de la loi Littoral et de l'aménagement du territoire n'est pas d'entraver l'urbanisation, mais au contraire de la favoriser et d'en accroître la rentabilité. Cela complique donc l'évaluation de son efficacité. Par conséquent, si nos résultats corroborent le fait que la loi Littoral ait contribué à réduire le risque de construction résidentielle dans la bande côtière de 100 mètres, cela dépend fortement du contexte local. De même, les règlements de planification apparaissent efficaces pour améliorer le développement urbain, en renforçant la cohérence, mais la poursuite de l'étalement urbain montre que sa durabilité environnementale est plutôt négligée.

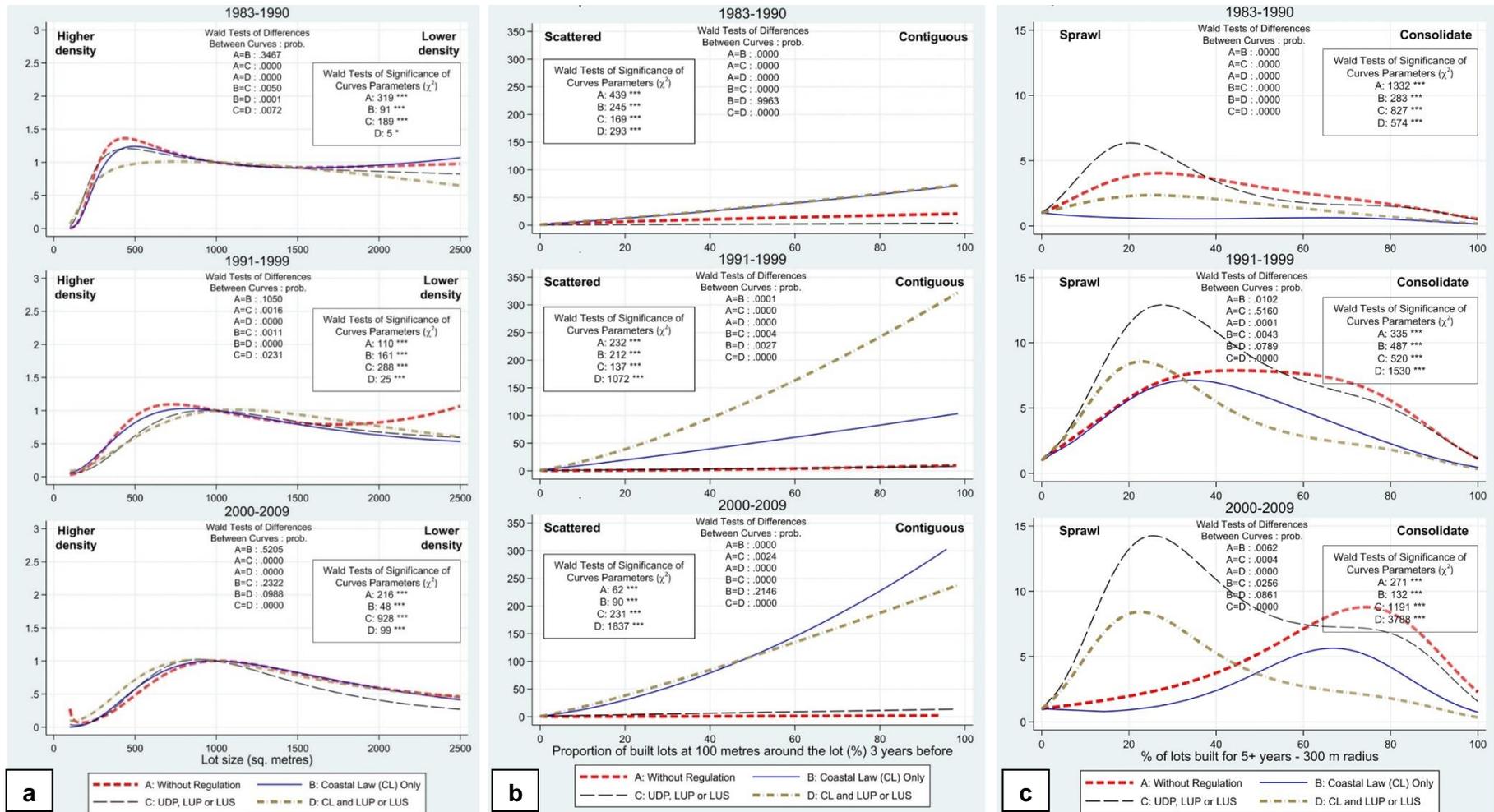


Figure 4.7 : Rapport des risques de développement de la densité résidentielle de 1983 à 2009 dans le Pays de Brest (Thériault et al., 2020)

4.4. Conclusion

Les résultats obtenus au terme de cette analyse montrent qu'après une période de "laisser-faire" en tout début de période (1968-1979), la construction résidentielle en zone littorale s'est vue peu à peu contrainte par le développement des dispositifs réglementaires. Si la loi de 1967 ne semble avoir eu aucun effet significatif pour la protection du littoral, dès le milieu des années 1970, les zonages environnementaux et la protection foncière sont parvenus à réduire les taux de construction. Ainsi, dans la bande côtière de 100 m du Pays de Brest, 23 % des parcelles constructibles sont protégées, en particulier par le Conservatoire du littoral.

La promulgation de la loi Littoral ne montre pas non plus d'effets immédiats, mais nos modélisations attestent que sa combinaison avec les documents d'urbanisme aboutit à une réduction tangible de la construction résidentielle. L'adoption des premiers documents d'urbanisme (POS) se traduit en effet par une réduction du risque de construction dans la bande côtière (100 m) dès le milieu des années 1980, qui se confirme avec force au cours des années 1990. Cet effet est en partie compensé par le redéploiement de la construction résidentielle dans l'arrière-littoral (entre 100 et 300 m). Mais c'est bien le littoral dans son ensemble (0-300 m) qui apparaît effectivement concerné par l'augmentation de la cohérence de l'aménagement. Cette cohérence se matérialise notamment par l'effet de plus en plus déterminant exercé par la proximité des zones déjà bâties.

C'est donc néanmoins grâce à la loi Littoral, et à l'ensemble des mesures législatives et de planification qui l'ont accompagnée, que le développement urbain devient plus cohérent. Mais il n'en reste pas moins que l'étalement urbain se poursuit. La principale conclusion de nos travaux, à ce stade, reste ainsi que l'application locale des lois nationales d'aménagement se heurte aux projets des territoires, qui privilégient encore le développement économique à la conservation de l'environnement. Cela témoigne d'une vision restreinte et à court terme du développement durable, également démontrée par plusieurs travaux présentés dans la première partie (Geniaux *et al.*, 2015 ; Prévost et Robert, 2016 ; Vimal *et al.*, 2012).

L'information géographique disponible, en dépit de certaines lacunes, permet désormais d'analyser finement l'urbanisation du littoral et l'influence qu'exerce la réglementation sur ce processus complexe. Mais les quelques entretiens réalisés avec les gestionnaires du Pays de Brest⁵³ laissent à penser que la valeur essentiellement rétrospective de nos résultats en limite l'utilité opérationnelle. Or, si la réglementation semble évoluer, en principe, dans le sens d'une meilleure intégration des priorités environnementales dans la planification urbaine, les enjeux fonciers et d'aménagement du littoral continuent de s'exacerber, en lien avec des dynamiques géographiques qui dépassent les seuls territoires littoraux. Les exemples ne manquent pas de recherches appliquées qui s'inscrivent dans la même volonté de décrire et de comprendre, à différentes échelles, le déroulement d'un processus complexe comme l'urbanisation (Rousseaux *et al.*, 2011 ; Geniaux *et al.*, 2011 ; Vimal *et al.*, 2012 ; Voiron-Caniccio *et al.*, 2016). C'est dans cette direction que je souhaite inscrire mes recherches futures. À la fois vers une

⁵³ Réunions avec des agents de Brest Métropole et de l'Adeupa entre 2015 et 2017, séminaire organisé à LETG en mars 2015.

analyse plus actualisée de l'urbanisation résidentielle, et en prise avec les enjeux de gestion des espaces littoraux, ainsi que vers une dimension plus prospective, exploratoire, apte à alimenter les réflexions sur ces enjeux et le devenir de nos littoraux.

Sur le littoral, le laisser-faire ou le faible contrôle de l'urbanisation résidentielle se sont traduits par un rapprochement souvent imprudent des constructions du bord de mer. Elles se trouvent alors exposées aux mouvements naturels du trait de côte, qui deviennent des aléas. Rompant l'équilibre dynamique du trait de côte, cette urbanisation favorise en retour les processus d'érosion, exposant encore davantage les enjeux bâtis. Dans les zones basses, souvent d'anciens marais maritimes poldérisés à des fins de mise en valeur agricole, la multiplication des constructions les expose, ainsi que leurs habitants, au risque de submersion marine. Déterminée en grande partie par ces changements d'occupation du littoral, l'exposition aux risques côtiers tend à être aggravée dans le contexte actuel et futur d'élévation du niveau marin. Avec toutes les incertitudes liées aux changements climatiques en cours, cette exposition pose de manière accrue la question de la vulnérabilité de nombreux territoires littoraux aux risques côtiers, question qui motive les recherches qui vont être présentées dans la partie suivante.

5. Occupation, usage et vulnérabilité du littoral aux risques côtiers

Dans sa définition classique (D'Ercole et Metzger, 2011), le risque est considéré comme le produit d'un aléa et des enjeux qui y sont exposés. Sans aléas, sans enjeux, le risque ne peut se matérialiser. Les aléas littoraux considérés dans ce cinquième chapitre (érosion côtière et submersion marine) sont des phénomènes naturels, constitutifs de l'équilibre dynamique des systèmes côtiers. L'érosion côtière taille les falaises littorales, formes d'ablation dont l'existence même est conditionnée par ce processus ; les matériaux arrachés aux falaises sont remobilisés par la houle et les courants qui, en les redéposant, construisent des formes d'accumulation (cordons littoraux, plages, etc.). Ces formes d'accumulation protègent généralement des zones basses, susceptibles d'être régulièrement soumises aux submersions marines, avec des périodes de retour variables selon la hauteur de la lame d'eau et l'intensité des phénomènes météo-marins à leur origine (Hénaff et Philippe, 2014).

Ces phénomènes sont naturels, mais l'occupation du littoral peut contribuer à en perturber les équilibres. Par ses implantations et les aménagements qui les accompagnent, l'homme peut en effet modifier la morphologie des côtes (poldérisation, construction d'ouvrages portuaires ou de protection contre la mer, etc.) et contrarier leur équilibre dynamique (Lageat, 2004). Surtout, en s'approchant toujours plus de la ligne de rivage et s'y concentrant davantage, les aménagements et les activités humaines s'exposent aux processus naturels du littoral, qu'ils soient permanents (stabilité dynamique), récurrents (érosion côtière) ou événementiels (submersion marine), matérialisant ainsi le risque (Hénaff *et al.*, 2018 ; Meur-Ferec et Morel, 2004)⁵⁴. Dans ces conditions, les risques côtiers apparaissent comme une conséquence de la manifestation de ces processus naturels, qui deviennent alors des aléas, tout autant que celle des changements d'occupation et d'usage du littoral, qui deviennent des enjeux. Cette création ou « émergence » du risque (Meur-Ferec et Morel, 2004) a bien entendu de nombreuses implications territoriales et sociétales, tout particulièrement dans le contexte actuel de changements climatiques et d'élévation du niveau marin (Doody, 2004 ; Paskoff, 2010).

5.1. Contexte scientifique et partenarial

Le thème des risques côtiers motive par conséquent de nombreux travaux de géographie, généralement dans un cadre pluri- voire interdisciplinaire, parmi lesquels ceux conduits au sein de l'IUEM et dans lesquels je me suis impliqué depuis une dizaine d'années. Dans la continuité des travaux menés par plusieurs collègues sur les dynamiques littorales et les risques côtiers (Hénaff, 2012 ; Meur-Ferec, 2008 ; Meur-Ferec *et al.*, 2013 ; Morel *et al.*, 2006), une succession de projets de recherche de l'IUEM⁵⁵ a été consacrée à l'analyse de la vulnérabilité systémique des territoires littoraux soumis aux risques d'érosion et de submersions marines (Hénaff et Philippe, 2014, 2020 ; Meur-Ferec *et al.*, 2012).

⁵⁴ Voir aussi §1.3.4 de ce mémoire

⁵⁵ Projets Meedat-Ademe ADAPTALITT (2009-2011), ANR COCORISCO (2011-2013), Fondation de France OSIRISC/Dreal de Bretagne OSIRISC+ (2011-2021), ANR FRQ ARICO (2020-2022), Interreg AGE0 (2020-2023), voir les détails dans le volume 2 de ce mémoire d'HDR.

Cette thématique de recherche possède d'évidentes finalités opérationnelles. Pour accompagner les acteurs impliqués dans la gestion des territoires littoraux, leurs usagers et leurs habitants dans leur compréhension et leur appréhension des risques côtiers, un observatoire des risques côtiers, nommé OSIRISC a été créé⁵⁶. Il s'intègre dans l'Observatoire des Sciences de l'univers (OSU) de l'INSU mis en place depuis 1997 à l'IUEM et fait partie du Réseau national des observatoires du trait de côte⁵⁷. OSIRISC vise à collecter, gérer, analyser et valoriser publiquement des données pour répondre à des objectifs à la fois scientifiques et opérationnels. Particulièrement concernées, du fait des responsabilités qui leur incombent en matière de gestion des risques côtiers, et de la contribution qu'elles peuvent apporter pour la collecte de données, les collectivités territoriales ont été précocement associées aux projets de recherche mis en œuvre à l'IUEM, ainsi qu'à l'observatoire OSIRISC qui en émane. En particulier, le partenariat LITTO'RISQUES⁵⁸ mis en place à l'initiative du Conseil départemental du Finistère associe le CD29, l'UBO et le Cerema pour offrir aux collectivités un appui méthodologique, scientifique et technique sur la gestion des risques côtiers. Ce partenariat s'appuie sur trois missions : l'observation du littoral, la gestion du trait de côte (par l'entremise d'ateliers) et le suivi des évolutions de la vulnérabilité aux risques côtiers, notamment par une animation et un accompagnement technique et méthodologique. Ce partenariat est centré sur le littoral du Finistère, mais il est, bien entendu, adossé à l'observatoire régional OSIRISC.

La zone d'observation couvre en effet l'ensemble du littoral de la région Bretagne (fig. 5.1). Sur son linéaire côtier long d'environ 2500 km⁵⁹, plus de 40 % sont constitués de falaises rocheuses, 20 % de falaises meubles, 7 % de côtes rocheuses basses, auxquelles il faut ajouter plus de 8 % de littoral artificialisé. Les côtes sédimentaires occupent près de 25 % du littoral (Hénaff et al., 2018), en partie sous forme de « plages de poche » enserrées dans des côtes rocheuses. Ainsi, d'un point de vue géomorphologique, le littoral breton apparaît relativement moins exposé que d'autres littoraux français aux aléas côtiers : des côtes majoritairement constituées de roches cristallines résistantes, pas de grandes zones basses, peu de polders. Mais 35 % de ses plages montrent une tendance à l'érosion côtière depuis les années 1950 (Stéphan et al., 2019). De plus, les anciens marais maritimes y ont fait l'objet de drainages à des fins agricoles depuis le XIXe siècle, avant d'être urbanisés dans la seconde moitié du XXème siècle. De taille généralement modeste, mais nombreux, ces polders occupent au total une superficie notable d'environ 500 km² en Bretagne et constituent aujourd'hui des zones basses bâties particulièrement exposées à la submersion marine.

⁵⁶ Voir la plaquette de présentation d'OSIRISC, <https://www.risques-cotiers.fr/wp-content/uploads/2021/03/plaquette-obs-osirisc-risques-cotiers.pdf>

⁵⁷ RNOTC, <http://observatoires-littoral.developpement-durable.gouv.fr/>

⁵⁸ Voir <https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/littorisques/> ainsi que la page consacrée sur le site du CD29 <https://www.finistere.fr/Actualites/Gestion-du-trait-de-cote-un-partenariat-pour-accompagner-les-collectivites>

⁵⁹ Observatoire de l'environnement en Bretagne, <https://bretagne-environnement.fr/donnees-types-cotes-bretonnes>

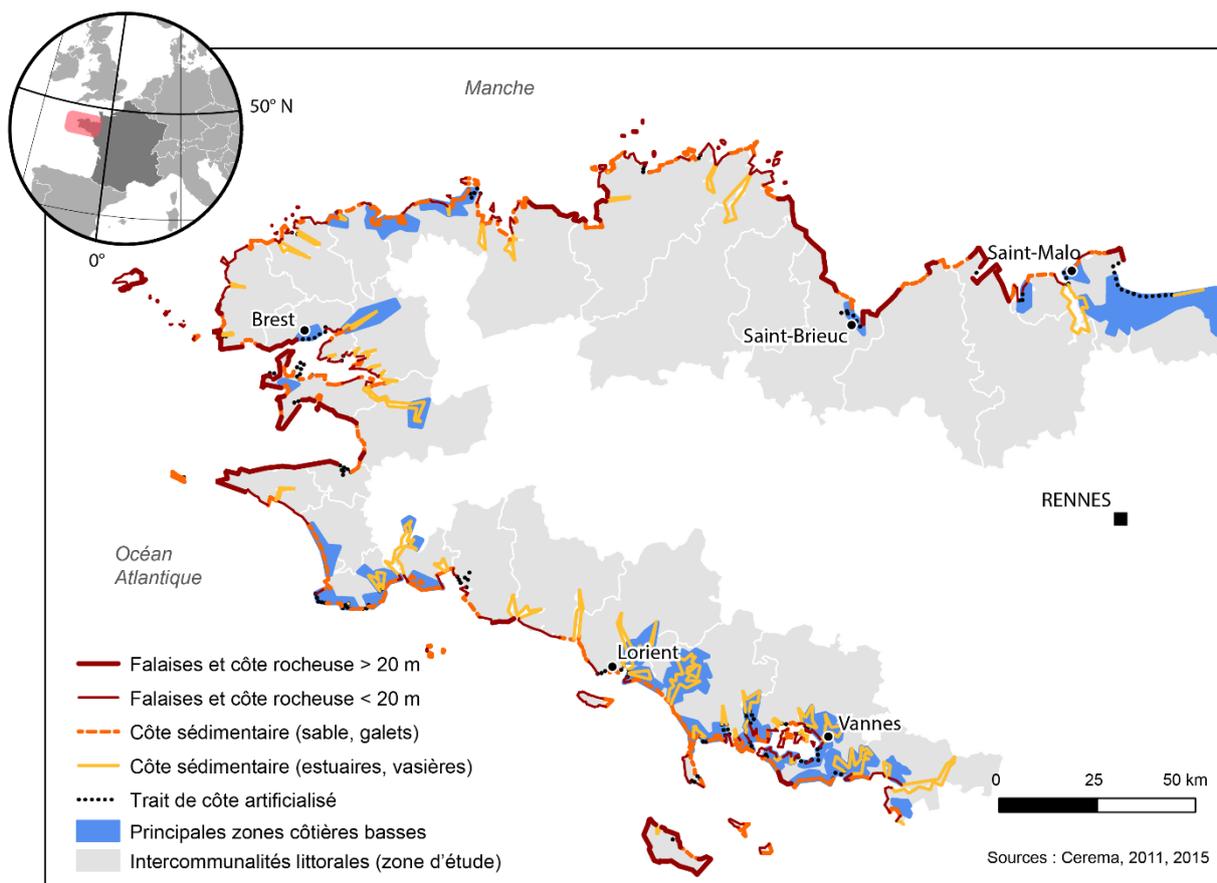


Figure 5.1 : Localisation et caractéristiques de la zone d'étude

Surtout, par son histoire et sa géographie, la population bretonne habite essentiellement sur le littoral. Les principales villes – à l'exception de Rennes – y sont localisées, et les communes littorales se trouvent parmi les territoires démographiquement les plus attractifs de France depuis plusieurs décennies (Rouxel et al., 2013 ; Vye, 2011). Elles abritent plus du tiers de la population régionale (36,7 % des habitants sur 18,5 % du territoire), pour une densité de 239 hab./km², deux fois supérieure à la densité moyenne régionale. Bien que leur croissance démographique tende à se ralentir au profit des villes et des communes périurbaines, et qu'elles pâtissent du vieillissement de la population et de l'augmentation de la part des résidents secondaires (Poupard, 2017)⁶⁰, les petites communes littorales restent attractives. Elles accueillent en effet les trois quarts de la fréquentation touristique de Bretagne⁶¹. Une part importante des enjeux est donc implantée sur le littoral et potentiellement exposée aux aléas côtiers. La connaissance de l'occupation et de l'usage du sol et de leur évolution constitue par conséquent une base indispensable pour pouvoir analyser le risque et la vulnérabilité, ainsi que pour accompagner les acteurs impliqués dans la gestion des territoires littoraux, leurs usagers et leurs habitants dans leur compréhension et leur appréhension de ces processus et de leurs conséquences.

⁶⁰ INSEE, 2019 - Plus de 400 000 habitants supplémentaires en Bretagne d'ici 2040

<https://www.insee.fr/fr/statistiques/4250821>

⁶¹ Les chiffres clef du tourisme en Bretagne, 2018 : <https://acteurs.tourismebretagne.bzh/observer/>

Dans cette perspective, et dans le cadre d'une approche interdisciplinaire – associant sciences de l'environnement, sciences humaines et sociales, et sciences juridiques et économiques – en étroite relation avec les gestionnaires du littoral, une première étape de réflexion terminologique et conceptuelle s'est avérée indispensable pour disposer d'une base de travail commune. La vulnérabilité permet en effet d'intégrer toutes les dimensions (naturelle, socio-économique, politique et institutionnelle, individuelle) de la fragilité d'un territoire côtier, mais c'est un concept foisonnant qui nécessite de réaliser des choix pour aboutir à un consensus. C'est ce qui a conduit à l'adoption du cadre conceptuel de la vulnérabilité systémique en quatre composantes (aléas, enjeux, gestion et représentations). Ce cadre adopté, il s'est agi de définir les variables permettant d'en décrire les différentes dimensions, d'identifier les données permettant de les alimenter, et de tester et développer des méthodes permettant de les combiner pour restituer la vulnérabilité systémique des territoires littoraux. Nous nous sommes également employés à développer un outil appropriable qui soit à la fois une source de données pour la recherche et une aide à la réflexion stratégique sur la vulnérabilité aux les risques côtiers. Sans avoir été réellement séquentielles, ces différentes étapes structurent le plan de la partie qui suit.

5.2. Cadre conceptuel : du risque à la vulnérabilité systémique

5.2.1. Au-delà du risque, la vulnérabilité

L'approche classique des risques, qui repose sur l'exposition des enjeux aux aléas, reste insuffisante pour évaluer la vulnérabilité des territoires (D'Ercole et Metzger, 2011). Longtemps, les recherches sur les risques « naturels » ont privilégié l'étude des aléas, à partir d'approches probabilistes d'occurrence et de magnitude issues des sciences de la terre et de l'ingénieur (D'Ercole et Metzger, 2011 ; Hénaff et Philippe, 2014 ; Morel *et al.*, 2006). La prise en compte des enjeux est intervenue plus tardivement. D'abord par leur simple identification, qui permet notamment de produire des « cartes de risque » (Garry, 1994 ; Marco, 1994 ; Steinberg, 1993), puis en termes de vulnérabilité structurelle ou matérielle : résistance des matériaux, moyens de mitigation physique, etc. (Dal Cin et Simeoni, 1994), par exemple pour établir un indice de risque encouru (Leone *et al.*, 1995). Peu à peu, les sciences sociales ont investi ce champ des risques naturels (Foucher, 1982), et développé, à la charnière des années 1980-1990 (Bolin et Bolton, 1986 ; Clark *et al.*, 1998 ; Cutter *et al.*, 2003), la notion de vulnérabilité sociale prenant en compte les facteurs structurels et fonctionnels (structure de la population, organisation sociale et politique, usages, croyances...) des sociétés exposées au risque. La notion de vulnérabilité permet, en effet, de cerner la fragilité d'un système dans son ensemble et ses capacités de reconstruction (Bercerra et Peltier, 2009 ; D'Ercole et Metzger, 2011).

La vulnérabilité n'est d'ailleurs pas qu'une notion « négative » (Defossez *et al.*, 2018 ; Gallopín, 2006), car elle intègre en outre des facteurs atténuateurs. Elle fait, en effet, référence à la capacité de réaction des territoires face aux aléas, ainsi qu'à leur capacité d'adaptation à plus long terme (Birkmann et Welle, 2015). C'est pourquoi, au-delà du « couple à risque » aléas/enjeux, qui considère les composantes physiques et socio-économiques, certains auteurs (Balica *et al.*, 2012 ; Turner *et al.*, 2003 ; Welle *et al.*, 2014) intègrent à la vulnérabilité une composante organisationnelle (gouvernance, modalités de gestion, etc.) qui détermine

notamment la résilience du système, c'est-à-dire sa capacité à retrouver un équilibre fonctionnel après une perturbation. En complément de cette dimension collective de la gestion du risque, d'autres auteurs promeuvent la dimension individuelle de la vulnérabilité, qu'elle soit structurelle (Creach *et al.*, 2015), ou bien cognitive et comportementale (Jonkman et Kelman, 2005 ; Vinet *et al.*, 2016). Ces composantes constituent ensemble un système complexe de vulnérabilité, propre à chaque territoire (Barnett *et al.*, 2008 ; Turner *et al.*, 2003).

Cependant, en tant que notion complexe, la vulnérabilité ne peut être mesurée directement parce qu'elle émane d'une construction sociale autant que d'une « réalité » objective (Kienberger *et al.*, 2009 ; Morrow, 1999). Elle requiert l'examen de variables (ou indicateurs) exprimant les différentes dimensions de la vulnérabilité, puis leur combinaison sous des formes plus ou moins intégrées et leur représentation notamment sous forme d'indices. De nombreuses combinaisons sont alors possibles, dont la littérature fait ressortir la diversité.

5.2.2. Vers des indices de vulnérabilité systémique

Dérivant de ces évolutions conceptuelles, les approches méthodologiques d'évaluation des risques côtiers ont également progressé dans le sens d'une intégration plus élaborée de la vulnérabilité dans ses différentes dimensions.

Les premiers indices reposent sur une description des caractéristiques physiques du littoral. Leur objectif est d'évaluer l'exposition relative de secteurs homogènes du littoral aux aléas d'érosion côtière et de submersions marines. Ainsi, le CVI, ou *Coastal vulnerability index*, développé pour les côtes nord-américaines (Gornitz *et al.*, 1997 ; Shaw *et al.*, 1998) a connu une large diffusion à travers de nombreuses adaptations régionales (Abuodha et Woodroffe, 2010 ; Nageswara Rao *et al.*, 2008 ; Pendleton *et al.*, 2004). Cette gamme d'indices décrit la sensibilité du littoral à partir de variables géophysiques, structurelles (pétrographiques et morphologiques) et de processus (vagues, marée, élévation du niveau marin, érosion), issues de l'observation sur le terrain. Une fois que les variables sont affectées à chaque section du littoral, généralement basée sur des cellules hydrosédimentaires (Thieler et Hammer-Klose, 1999), l'indice de vulnérabilité côtière est calculé pour hiérarchiser les secteurs littoraux selon leur prédisposition à subir les effets d'un aléa.

L'élaboration d'indices de risque nécessite d'ajouter à la description des aléas des variables caractérisant les enjeux qui y sont exposés. McLaughlin et Cooper (2002) proposent ainsi un indice appliqué au littoral d'Irlande du Nord, qui intègre une composante socio-économique, en plus de la description des caractéristiques physiques du littoral (nature morpho-sédimentaire et facteurs de forçage météo océanique). Cette composante est décrite par six variables : population, routes, chemin de fer, usage du sol (en réalité des classes d'occupation du sol extraites de Corine Land Cover et hiérarchisées), patrimoine culturel, niveau de conservation des espaces naturels. Après ventilation des données dans un maillage, puis normalisation des scores (en 5 classes), la moyenne des composantes a été calculée. Dans cet exemple, le nombre de variables considérées reste relativement limité et il a surtout été contraint par la disponibilité des données (McLaughlin *et al.*, 2002). L'accès aux données peut en effet rester une contrainte importante selon les régions étudiées (Barnett *et al.*, 2008), notamment au niveau local et pour des échelles détaillées (Kienberger, 2012).

Or, de nombreux facteurs de vulnérabilité socio-économiques ont été identifiés dans la littérature (Clark *et al.*, 1998 ; Cutter *et al.*, 2000, 2003 ; Morrow, 1999). Ils portent sur la démographie (effectif et caractéristiques de la population : âge, structure des ménages, éducation, etc.), le logement (nombre total de logements, statut de propriété, caractéristiques et valeur du bâti), l'emploi (nature, revenu, chômage, etc.). Utilisant un nombre élevé de variables (plusieurs dizaines parfois), certains auteurs (Burton et Cutter, 2008 ; Cutter *et al.*, 2003 ; Peduzzi *et al.*, 2009) emploient des méthodes d'analyses multivariées pour en analyser les corrélations (multicolinéarité) et, éventuellement, en réduire le nombre (analyse factorielle). Il s'agit de ne pas émettre d'hypothèses préalables quant à leur contribution respective à la vulnérabilité. Par exemple, à partir de l'analyse factorielle de 39 variables, Boruff *et al.* (2005) parviennent à identifier 10 facteurs (tous démographiques ou sociaux, à l'exception d'un facteur de dichotomie urbaine/rurale) qui expliquent l'essentiel (82 % de la variance) de la vulnérabilité sociale du littoral des États-Unis. D'autres travaux reposent sur une sélection préalable des variables, notamment par expertise croisée entre scientifiques et gestionnaires (Kienberger *et al.*, 2009 ; Papatoma-Köhle *et al.*, 2016). L'objectif est alors tout autant de fonder le diagnostic sur une approche scientifique rigoureuse que d'en favoriser l'appropriation par les acteurs de terrain, voire par la population.

À l'inverse, le nombre de variables peut être très réduit, pour favoriser la reproductibilité et la transcription opérationnelle d'une méthode. Par exemple, dans une approche sectorielle consacrée à l'exposition du bâti à l'érosion côtière, Juigner *et al.* (2017) emploient trois indicateurs : évolution du trait de côte, distance du bâti au trait de côte, emprise bâtie en front de mer. Ce type d'approche privilégie la simplicité afin de favoriser la reproductibilité de la méthode, notamment par son automatisation qui permet l'agrégation des résultats à différentes échelles. Dans le même esprit, certaines approches s'attachent à décrire la vulnérabilité d'une catégorie spécifique d'enjeu à un type d'aléa bien défini, tout en privilégiant une dimension transversale intégrant plusieurs composantes de la vulnérabilité. Par exemple, l'indice de Vulnérabilité intrinsèque extrême (VIE) de Creach *et al.* (2015) se concentre sur les caractéristiques du bâti résidentiel et son degré de dangerosité pour ses occupants en cas de submersion marine. Il s'appuie sur quatre indicateurs : hauteur d'eau potentielle par maison (aléa), distance entre la digue et la maison (aléa), typologie architecturale (enjeu), proximité d'une zone refuge (gestion). Ces indicateurs sont normalisés en 5 classes, puis agrégés pour définir un indice de vulnérabilité du bâti.

Poursuivant une ambition encore plus intégratrice, une troisième famille est constituée par les indices de vulnérabilité systémique. Leur objet est de fournir une appréciation globale de la vulnérabilité dans l'objectif d'en effectuer des comparaisons spatiales et souvent territoriales (Balica *et al.*, 2012 ; Meur-Ferec *et al.*, 2008 ; Shepard *et al.*, 2012). L'indice de vulnérabilité spatiale (PVI, *Place vulnerability index*) de Boruff *et al.* (2005) se situe dans cet esprit, en intégrant un indice de vulnérabilité physique du littoral (CVI) avec un indice socio-économique (CSoVI). Mais la vulnérabilité systémique peut également intégrer au moins une troisième composante, qu'elle soit liée aux caractéristiques structurelles des territoires (aménagement, infrastructures) ou à leurs modalités de gestion (souvent rattachées à la capacité de réaction). Par exemple, le *Coastal City Flood Vulnerability Index* (Balica *et al.*, 2012)

s'attache à évaluer la vulnérabilité aux submersions marines des grandes villes des zones basses littorales, notamment deltaïques, à l'échelle mondiale. Il s'appuie sur une batterie de 19 indicateurs répartis dans quatre composantes (hydrogéologique, sociale, économique et politico-administrative), dont la somme permet de calculer un indice global de vulnérabilité aux inondations. La décomposition de la vulnérabilité en sous-systèmes indépendants, qui peuvent donc être analysés séparément, permet d'atténuer la dépendance de l'indice global à la qualité des données disponibles. Elle permet par ailleurs de déconstruire l'indice pour en visualiser précisément les composantes.

Dans un autre exemple, mais appliqué à l'échelle locale (Cadix, Espagne), Birkmann et al. (2010) définissent un indice de vulnérabilité sociale (*SoVI, Social Vulnerability Index*) combinant l'exposition (nombre de personnes exposées à la submersion par hectare), la susceptibilité (part des personnes vulnérables, ratio hommes-femmes), et la capacité d'adaptation (part des constructions de plus d'un étage, enfants de moins de 6 ans, éducation, migrants). Ces trois composantes de la vulnérabilité sont agrégées par une méthode additionnelle dans laquelle la capacité d'adaptation est soustraite aux autres composantes, car elle est considérée comme une variable atténuatrice. Le *World Risk Index* (Birkmann et Welle, 2015) constitue une approche mondiale de cette approche, dont l'objet est d'évaluer les risques encourus par les populations confrontées aux risques naturels et aux phénomènes extrêmes. Le calcul de ces indices repose sur une trentaine d'indicateurs sélectionnés à dire d'experts et produits à partir de plusieurs bases de données mondiales. Une déclinaison littorale du WRI concerne les risques côtiers tels que les tempêtes, les inondations, les ondes de tempête et les tsunamis, ainsi que l'élévation du niveau de la mer (Welle et al., 2014).

Tableau 5.1 : Exemples d'indices de vulnérabilité aux risques côtiers

Indice	Méthode	Formulation	Échelle d'application
CVI - Coastal Vulnerability Index (Gornitz et al., 1991)	Ventilation des données Agrégation	$V = f(a, b, c, d, e, f, g)$ a : altitude, b : type de côte, c : matériau d : eustatisme, e : érosion/accrétion, f : amplitude de la marée, g : hauteur moyenne des vagues	Nationale : États-Unis Granularité : grille 0,25°x0,25°
Multi-scale Coastal Vulnerability Index (Mc Laughlin et al., 2002; Mc Laughlin & Cooper, 2010)	Choix des variables à dire d'experts Ventilation des données Normalisation (1-5) Agrégation	$V = \frac{f(R, S) + A + E}{3}$ À : aléas, R : résilience, S : susceptibilité, E : enjeux	Nationale : Irlande du Nord Granularité : 500x500 m (échelle nationale), 25x25 m (comté), 1x1 m (bande côtière)
SoVI - Social vulnerability index (Cutter et al., 2003)	Tests de multicolinéarité Analyse factorielle Agrégation	$SoVI = a + b + c + \dots + n$ 42 variables analysées => 11 facteurs indépendants : âge, ethnie, éducation, structure familiale, dépendance sociale, emploi, etc.	Nationale : États-Unis Granularité : comtés
PVI - Place vulnerability index (Boruff et al., 2005)	ACP Régression linéaire, standardisation min-max Agrégation	$CSoVI = \frac{\sqrt{(a * b * c * d * e)}}{n}$ $PVI = CVI + CSoVI$ 39 variables socio-économiques (revenu, ethnie, emploi, genre, usage du sol, etc.)	Nationale : États-Unis Granularité : 213 comtés littoraux

CCFVI - Coastal City Flood Vulnerability Index (Balica et al., 2012)	Normalisation (0 à 1) Calcul des indices de composantes Agrégation	$CCFVI = H + S + E - P$ H : hydrogéologie (type de côte, pente, SLR, onde de tempête, etc.), S : social (population littorale, croissance démographique, population vulnérable, refuges, etc.), E : économie (croissance démographique, canalisations), P : politico-institutionnel (cartographie de submersion, organisation institutionnelle, planification, ouvrages de protection)	Mondiale Granularité : grandes villes du monde en zone basse littorale (9 cas d'études)
VIE - Vulnérabilité Intrinsèque Extrême du bâti (Creac'h et al., 2015)	Calcul des indicateurs Normalisation (1 à 5) Agrégation	$VIE = \frac{2i_1 + i_4}{3} + i_2 + i_3$ i_1 : hauteur d'eau potentielle par maison (si $i_1 = 0 \Rightarrow VIA = 0$), i_2 : distance digue-maison, i_3 : architecture, i_4 : proximité refuge	Locale : communes du littoral Vendée-Poitou Granularité : individuelle (bâti)
Exposition au recul du trait de côte (Juigner et al., 2017)	Segmentation du littoral Calcul des indicateurs Normalisation (4 classes) Combinaison des indicateurs	3 indicateurs : évolution du trait de côte, distance du bâti au trait de côte, emprise bâtie en front de mer <i>Requêtes logiques : Low if indicateurs = LLL, Moderate if indicateurs = LLH, High if indicateurs = LHH, Very High if indicateurs = HHH, 0 if evolution positive du TC ou absence d'enjeux</i>	Régionale : Pays de Loire Granularité : boîte de 30*100 m
V - Vulnérabilité sociale au risque tsunami (Birkmann et al., 2010)	Calcul des valeurs des composantes Agrégation	$V = E + S - C$ E : exposition (personnes exposées/ha), S : susceptibilité (part des personnes vulnérables, ratio hommes-femmes), C : capacité d'adaptation (part des constructions > 1 étage, enfants < 6 ans, population ayant eu une éducation scolaire > 6 ans, illettrisme, migrants non hispanophones).	Locale : Cadix (Espagne) Granularité : îlots urbains
WRI – World Risk Index (Birkman & Welle, 2015) ; C@R – Coastal Risk Index (Welle et al., 2014)	ACP Transformation des capacités en manque de capacité (LoCr = 1-Cr et LoCa=1-Ca) Agrégation Discretisation (au regard de l'IDH)	$WRI = E * \left(\frac{1}{3} * (S + LoCr + LoCa) \right)$ E : exposition, S : susceptibilité, Cr : capacités de réaction locale, Ca : capacités d'adaptation locale 28 indicateurs : pourcentage annuel moyen de personnes exposées aux aléas naturels, Infrastructures, Nutrition, Pauvreté et dépendance, Revenu, Gouvernance, Services de santé, Assurances, Education, Parité de genre, Protection de l'environnement, Investissement	Mondiale Granularité : Pays
Overall Flood Risk Index (Shepard et al., 2012)	Ventilation des variables Calcul des composantes exposition (E) et vulnérabilité (V) Agrégation	$E = f(A, D)$ $V = f(Vs, I)$ $Risque = f(E, V)$ À : alea (1 variable), D : dommages immobiliers (1), Vs : vulnérabilité sociale (19), I : infrastructures critiques (6)	Locale : Long Island, New York, États-Unis Granularité : îlots censitaire
Socio-economic Vulnerability Index (Kienberger, 2012)	Choix des variables et du système de pondération à dire d'experts Production d'indicateurs par analyse multicritère et Delphi exercice Normalisation, segmentation et smoothing	$Risque = f(A, E, V)$ $V = f(S, CA)$ À : aléa, V : vulnérabilité, S : sensibilité, CA, Capacité d'adaptation 11 indicateurs : social (accès aux services de santé, d'éducation, conflits, systèmes d'alerte, centres de secours) ; économique (accès aux marchés locaux, agriculture, services écosystémiques alimentaires, infrastructures routières, distance aux villes).	Locale : district de Buzi (Mozambique) Granularité : mailles élémentaires de 100 m

5.2.3. L'absence d'un consensus conceptuel

Cette revue de la littérature montre qu'un consensus est loin d'être établi en ce qui concerne la vulnérabilité. Le nombre d'états de l'art consacrés à la vulnérabilité en témoigne (Adger, 2006 ; Cardona et al., 2012 ; Delor et Hubert, 2000 ; Eakin et Luers, 2006 ; Gallopín, 2006 ; Nguyen et al., 2016 ; Turner et al., 1996 pour ne citer que ceux-ci), de même que la diversité

des approches conceptuelles présentées et justifiées par les auteurs. Thywissen (2006) par exemple identifie 30 définitions différentes du risque, et 36 définitions de la vulnérabilité !

Cette dimension polysémique résulte du fait que ces définitions ont été élaborées simultanément dans différents champs disciplinaires (Thywissen, 2006). Eakin et Luers (2006) distinguent trois paradigmes de la vulnérabilité. Le premier repose sur une approche géophysique : issue des sciences de la terre et de l'ingénieur, elle est, par conséquent, centrée sur les risques et les aléas et s'attache essentiellement à définir l'exposition (Burton *et al.*, 1993). La seconde approche ressort de l'économie et de l'écologie politique : en intégrant l'exposition, la sensibilité et la capacité de réaction, elle considère la vulnérabilité sociale (Wisner *et al.*, 1994). Le troisième paradigme, qui est aussi le plus récent, est inspiré du concept de résilience : provenant de l'écologie, le système de vulnérabilité y est considéré comme en état d'équilibre dynamique et en adaptation permanente. L'approche qui lui est reliée se consacre donc à l'analyse des capacités d'adaptation et de réorganisation du système, ainsi qu'à la détection des seuils de changement (Turner *et al.*, 2003). On est ainsi passé d'une approche aléa centrée, et essentiellement probabiliste, à une approche plus intégrée, considérant les dimensions sociales et territoriales de la vulnérabilité (Defossez *et al.*, 2018 ; Johnson *et al.*, 2016). Mais ces approches ne sont pas seulement séquentielles, traduisant une progression scientifique dans l'analyse et la compréhension de la vulnérabilité. Les risques étant largement une construction sociale, économique et territoriale, ils font apparaître des contradictions entre systèmes de valeurs et matérialisent des conflits d'intérêts (D'Ercole et Metzger, 2011). Par exemple, même si dans le discours l'attention se porte désormais davantage sur les enjeux humains (Gallopín, 2006 ; Thywissen, 2006), les actions menées dans la réalité pour réduire ou contenir la vulnérabilité sont encore surtout destinées à réduire les coûts d'endommagement (Defossez *et al.*, 2018).

En définitive, les diverses approches de la vulnérabilité (et des risques) doivent être vues comme complémentaires pour évaluer la complexité du concept et de ses relations avec le socioécosystème (Eakin et Luers, 2006). Gallopín (2006) souligne d'ailleurs que, plutôt que de cultiver l'illusion d'une approche conceptuelle unique applicable à tous les territoires et à toutes les échelles, l'essentiel réside dans l'adoption de compromis locaux satisfaisants des points de vue à la fois scientifique et opérationnel. Il rejoint en cela l'approche géographique promue par Cutter *et al.* (2003) au travers du concept de vulnérabilité spatiale (*vulnerability of place*) qui rappelle que la vulnérabilité ne saurait être évaluée de manière absolue, mais relativement aux caractéristiques biophysiques et sociales locales du territoire considéré. Dans cet esprit, il convient donc de privilégier des approches pragmatiques reposant sur les caractéristiques et les problématiques des territoires considérés, en choisissant un cadre conceptuel clair et une terminologie partagée et comprise par tous les acteurs concernés. Cela nécessite l'implication de ces acteurs très en amont du processus d'élaboration des indices (dès le choix des variables voire de la production des données), l'adaptation de la démarche aux caractéristiques du territoire (aussi bien physiques, que socio-économiques ou politiques) ainsi qu'à la disponibilité de la donnée, afin notamment de favoriser la reproductibilité des méthodes mises en œuvre dans une perspective d'observation à long terme et d'opérationnalité.

Les travaux auxquels j'ai contribué reposent sur les différentes étapes d'une évaluation de la vulnérabilité systémique (Kienberger *et al.*, 2009) : définition de l'approche conceptuelle, choix des méthodes de cotation (indicateurs et indices), choix des modes de représentation.

5.2.4. OSIRISC, une approche systémique de la vulnérabilité en quatre composantes

Dans l'approche développée au sein d'OSIRISC, la vulnérabilité est considérée comme un système complexe résultant de la combinaison de quatre composantes interdépendantes (fig. 5.2) : les aléas, les enjeux, la gestion et les représentations sociales.

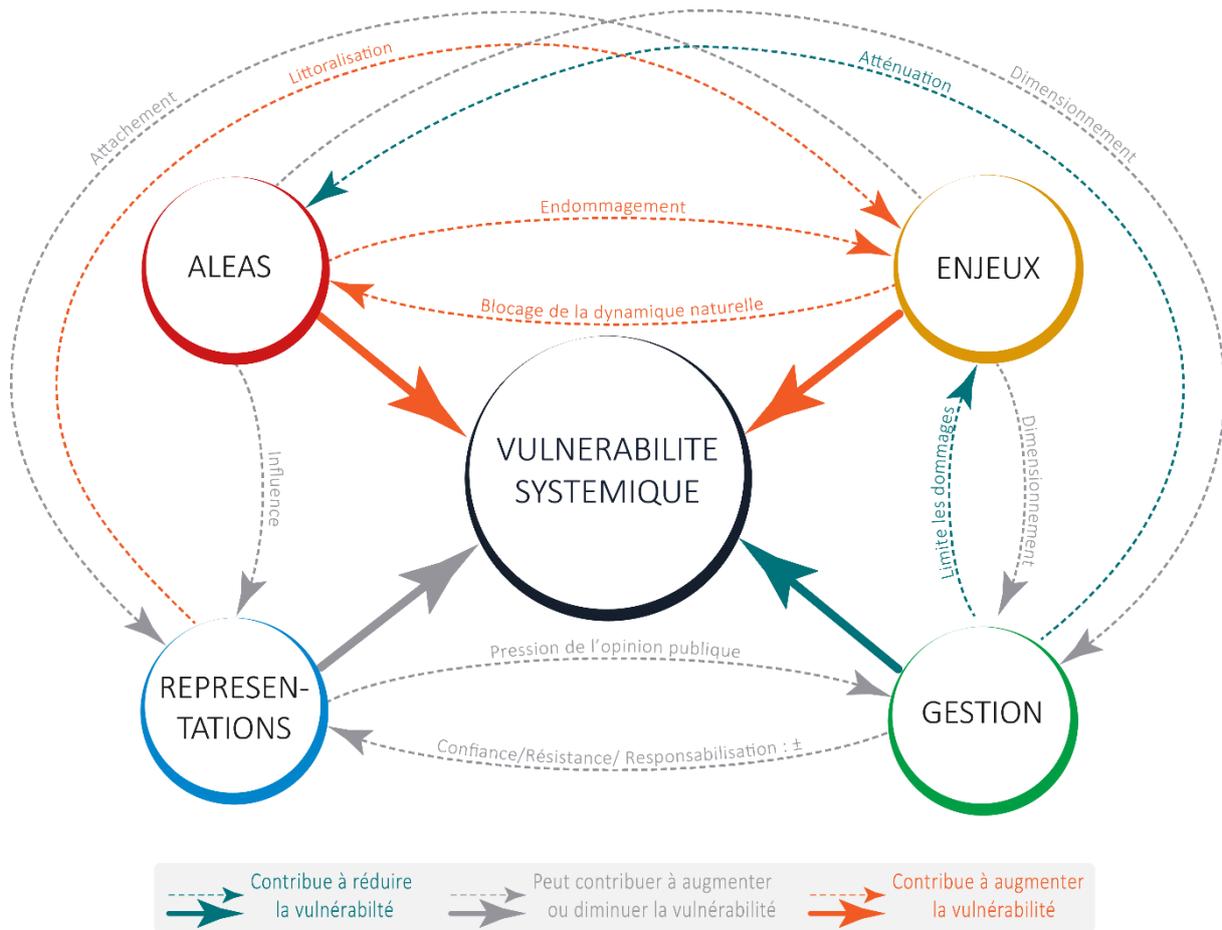


Figure 5.2 : Les quatre composantes de la vulnérabilité (d'après Meur-Ferec *et al.*, 2008, 2020)

De manière tout à fait classique, les aléas (ici l'érosion littorale et la submersion marine) sont des processus d'origine naturelle ou humaine susceptibles d'endommager ou de détruire les enjeux exposés. Les enjeux regroupent les personnes, les biens et les activités qu'abrite un territoire potentiellement exposé à l'aléa. Si ces composantes permettent de définir l'exposition d'un territoire au risque, deux autres composantes sont prises en compte pour évaluer la vulnérabilité (Hénaff et Philippe, 2014). La gestion du risque correspond aux politiques et outils de prévention, aux mesures de protection et de réparation adoptées et mises en œuvre par les différentes autorités compétentes. Les représentations reposent sur une notion sociologique qui recouvre à la fois la perception et la conscience du risque, l'attachement au

territoire, ainsi que les comportements associés chez une personne ou une catégorie de personnes (par exemple habitants, élus).

Aléas et enjeux sont des composantes primordiales, car constitutives du risque : en l'absence de l'une ou de l'autre il n'y aurait pas de risque (D'Ercole et Metzger, 2011), donc ni possibilité, ni nécessité d'évaluer la gestion et la représentation de celui-ci. Dans la même logique, ces deux composantes influent de façon déterminante sur le diagnostic de vulnérabilité. La gestion, quant à elle, va dans le sens de la réduction de la vulnérabilité (atténuation), mais une gestion inappropriée, ou imparfaitement appliquée, peut avoir l'effet inverse. C'est pourquoi il est essentiel de pouvoir en apprécier la cohérence. La mise en œuvre de modalités de gestion appropriées repose à la fois sur la connaissance et la compréhension du risque, sur les moyens pouvant être mis en œuvre par les pouvoirs publics ainsi que par les particuliers. Au-delà de la connaissance, elle se fonde donc aussi sur les représentations du risque. Celles-ci sont complexes à analyser dans la mesure où elles résultent d'un faisceau complexe de facteurs (sociaux, culturels, environnementaux, etc.) qui peuvent tout autant contribuer à une réduction ou à une augmentation de la vulnérabilité (Hellequin *et al.*, 2013 ; Michel-Guillou et Meur-Ferec, 2017). Enfin, la vulnérabilité est intimement liée à l'histoire du territoire, à son occupation et à sa population, aux valeurs qu'elle défend et à ses modalités d'existence (ou de développement). C'est pourquoi, de même que la population n'est pas concernée de manière homogène par les risques, la vulnérabilité n'est pas une notion universelle pouvant être décrite par une méthode unique reposant sur une seule formule (Barnett *et al.*, 2008). C'est plutôt une notion socialement investie (Meur-Ferec, 2008) et spatialement située (Cutter *et al.*, 2003).

Sur ces bases, l'intégration des aléas dans la définition de la vulnérabilité systémique, encore peu usitée, permet une compréhension globale de la problématique des risques côtiers (Hellequin *et al.*, 2013) conformément aux préconisations de D'Ercole et Metzger (2011). Elle permet par ailleurs de ne pas dissocier des composantes étroitement imbriquées sur le terrain et en interrelations constantes (Meur-Ferec *et al.*, 2020), qui justifient pleinement une approche pluridisciplinaire. Elle rompt, en effet, la division classique du travail entre sciences « dures » se concentrant sur les aléas, et sciences sociales qui analysent la vulnérabilité (D'Ercole et Metzger, 2011) en fondant la réflexion menée dans chaque composante sur leurs interrelations selon des niveaux de dépendance mutuelle ou univoque.

La décomposition du système de vulnérabilité en composantes, aussi artificielle puisse-t-elle paraître, résulte également d'un parti pris méthodologique. Ainsi, d'un point de vue organisationnel, avec une certaine autonomie, les équipes chargées de chaque composante disposent-elles d'une succession de séquences de travail individuelles ou collectives, dans des configurations (notamment disciplinaires, mais aussi institutionnelles) variables, afin de pouvoir questionner les particularités méthodologiques inhérentes à chaque composante. Ce fonctionnement simplifie l'approche conceptuelle, facilite la collecte et le traitement des données et favorise les développements méthodologiques en vue de parvenir à la compréhension du système dans son ensemble. Enfin, ce découpage facilite le suivi de ces quatre composantes dont aucune n'est figée dans le temps et dont chacune, bien que reliée aux autres, possède des dynamiques qui lui sont propres.

5.3. Méthodologie

Sur ces bases conceptuelles, l'approche développée repose sur plusieurs principes :

- La vulnérabilité systémique est une notion complexe dont l'évaluation nécessite de s'appuyer sur une batterie de variables thématiques (les *indicateurs*) permettant d'en décrire les différentes composantes ;
- L'alimentation de ces indicateurs repose sur la collecte de données de thématiques, de sources et d'échelles variées, pour lesquelles un référentiel spatial commun doit être défini ;
- Les indicateurs doivent pouvoir être combinés pour reconstituer le système complexe de la vulnérabilité, sous forme de métriques (les *indices*) plus ou moins agrégées ;
- Ces indices doivent pouvoir être déconstruits pour en faciliter la compréhension et pour identifier la contribution des variables qui les déterminent.

5.3.1. Choix des variables et production des indicateurs

Le choix des variables s'établit à partir de la revue de la littérature, par des choix empiriques liés aux expérimentations et aux caractéristiques des terrains d'étude, ainsi qu'à la disponibilité des données. Ce choix résulte surtout du processus d'échanges, de validation et d'ajustements mis en place (en plusieurs temps et à plusieurs échelles) avec les gestionnaires impliqués dans OSIRISC. 62 indicateurs ont ainsi été définis (tab. 5.2).

Chaque composante possède ses propres sources et ses propres méthodes de collecte des données. Cinq indicateurs d'*aléas* ont été définis. Actuellement, deux sont complétés à l'échelle régionale : la distance érodée par an est évaluée à partir de l'Indicateur national d'érosion côtière (Hédou *et al.*, 2015) ; la hauteur de submersion à partir de la couche des zones basses du littoral breton téléchargeable sur le GéoLittoral⁶². Deux autres indicateurs sont destinés à être complétés par des mesures *in situ*, notamment par les partenaires institutionnels, à partir des protocoles développés dans le cadre de l'observatoire OSIRISC (Lami *et al.*, 2020). Les *enjeux* sont structurés en 4 catégories (humains, économiques, structurels, agricoles et naturels) renseignées à partir de l'information géographique de référence : IGN (BD Topo notamment), INSEE (données carroyées, BD SIRENE), IDG GéoBretagne, etc. Une partie de ces enjeux sont bien entendu décrits à partir de données sur l'occupation et l'usage du sol (en gras dans le tableau 5.2). Les indicateurs de la composante de gestion (regroupés en 5 thèmes) sont complétés pour partie à partir de données collectées sur internet, et surtout au cours d'entretiens auprès des gestionnaires (Quillet *et al.*, 2019). La composante des représentations est la plus complexe à renseigner et à retranscrire sous la forme d'indicateurs. Elle repose sur 15 indicateurs groupés en 3 thèmes qui ne peuvent être complétés que par des techniques d'enquête en face à face ou en ligne (Michel-Guillou et Meur-Ferec, 2017).

⁶² Géocatalogue, <http://www.geocatalogue.fr/Detail.do?fileIdentifiant=739739dc-a6b1-43f6-baa4-c1be3a3669c9>

Tableau 5.2 : Liste des indicateurs du projet OSIRISC, classée par composantes

Composante	Thème	Indicateur	Source	Échelle	Année
Aléa	Erosion	Distance érodée par an par 100 m linéaires	Cerema, Indicateur national d'érosion côtière	1/100 000	2018
		Surface érodée par an par 100 m linéaires	Mesure in situ		Selon les sites
	Submersion	Volume érodé par an par 100 m linéaires	Mesure in situ		Selon les sites
		Hauteur de submersion	Cerema Zones basses	1/100 000	2011
		Linéaire exposé aux paquets de mer et aux écoulements	Mesure <i>in situ</i>		Selon les sites
Enjeu	Humain	Nombre d'habitants	Insee Données carroyées	Résolution 200 m	2010
		Pourcentage de personnes < 10 ans ou > 65 ans	Insee Données carroyées	Résolution 200 m	2010
		Pourcentage des ménages à bas revenu	Insee Données carroyées	Résolution 200 m	2010
	Économique	Nombre de bâtiments résidentiels	IGN BDTopo	1/10 000	2016
		Pourcentage de résidences secondaires	Insee RGP 2014	Commune	2014
		Nombre de lits touristiques	Comités départementaux et régionaux du tourisme	Point	2016
		Nombre d'emplois	Insee BD SIRENE	Point	2018
		Valeur immobilière moyenne (par m ²)	Cerema, DV3F	Commune	2010-2014
		Diversité des activités économiques	Insee BD SIRENE	Résolution 200 m	2018
	Structurel	Capacité d'accueil des Établissements recevant du Public	SDIS, GéoBretagne	1/5 000	2018
		Emprise au sol du bâti résidentiel (en m²)	IGN BD Topo	1/10 000	2017
		Emprise au sol du bâti à vocation économique (en m²)	IGN BD Topo	1/10 000	2017
		Localisation des établissements industriels à risque	Dreal, Cerema, GéoBretagne	Point	2018
		Présence/Nombre de points sensibles des réseaux essentiels	Collectivités, opérateurs	1/10 000	2018
		Part du linéaire côtier protégé par des ouvrages de défense	Cerema, BD Ouvrages littoraux	1/2 500	2017
Localisation du bâti résidentiel sans étage refuge		Collectivités, terrain	Parcelle foncière	Selon commune	
Présence d'un établissement de secours		SDIS	1/5 000	2018	
Proximité d'un établissement de secours		SDIS	Résolution 200 m	2018	
Présence d'un port		Dreal, GéoBretagne,	1/25 000	2018	
Nombre de monuments historiques		DRAC	1/1 000	2016	
Agricoles et naturels*		Surface occupée par l'agriculture (ha)	RPG	1/5 000	2018
	Nombre de zonages environnementaux	Dreal	1/25 000	2017	
Gestion	Maîtrise de l'urbanisation	Contraintes de constructibilité en zone d'aléas	DDTM, communes GéoBretagne	Commune	Selon commune
		État général du PPRL	DDTM, BD Gaspar, communes	Commune	Selon commune
	Stratégie locale	Mise en place de la compétence GEMAPI	Communes, EPCI	Commune	Selon commune
		État des ouvrages	Communes, EPCI	Commune	Selon commune
		Capacités humaines sur les risques côtiers	Communes, EPCI	Commune	Selon commune
		Démarche locale (PAPI, SLGR**, SGGITC***, etc.)	Communes, EPCI, BD Gaspar, GéoRisques	Commune	Selon commune
		Acteurs partenaires de la démarche locale	Communes, EPCI, etc.	Commune	Selon commune
		Intégration des acteurs extraterritoriaux	Communes, EPCI, etc.	Commune	Selon commune
	Gestion de crise	Mise en œuvre PAPI	Communes, EPCI	Commune	Selon commune
		Relocalisation dans stratégie locale	Communes, EPCI	Commune	Selon commune
		Intégration du SDIS dans le PCS****	Communes, SDIS*****, SIDPC	Commune	Selon commune
		Mise à jour du PCS	Dreal, BD Gaspar, communes	Commune	Selon commune
	Sensibilisation	Moyens d'alerte	Dicrim, PCS, communes	Commune	Selon commune
		Etablissements scolaires	Etablissements scolaires locaux	Commune	Selon commune
		Associations sur les risques côtiers	Préfecture, commune	Commune	Selon commune

		Repères inondations et recul du trait de côte	Communes, terrain	Commune	Selon commune
		DICRIM diffusion	Communes	Commune	Selon commune
		DICRIM pédagogie	Communes	Commune	Selon commune
Connaissance		Publications scientifiques sur les risques côtiers	WOS, Cairn, HAL, Persée, Google Scholar	Site	Selon commune
Conscience du risque		Expérience personnelle (directe/indirecte)	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Place des risques dans les problématiques locales	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Attention personnelle et inquiétude	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Recherche active d'information	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Pratiques individuelles de protection	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Connaissance de programmes locaux de gestion	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
Représentations	Évaluation des institutions et des pratiques collectives	Confiance dans les institutions et acteurs médiateurs	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Confiance dans les institutions nationales et supranationales	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Confiance dans les institutions locales et régionales	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Réglementation et recul du bâti (évaluation de l'efficacité)	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Prévention et procédures d'évacuation (évaluation de l'efficacité)	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Renforcement des ouvrages de protection (évaluation de l'efficacité)	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
Sens du lieu		Attachement au lieu	Enquête individuelle	Commune	Selon commune
		Activités en lien avec la mer	Enquête individuelle	Commune	Selon commune

*Nous considérons ici que le patrimoine naturel n'est pas un enjeu qui augmente la vulnérabilité, mais serait plutôt une opportunité d'adaptation : plus il existe d'espaces naturels « libres » de bouger, moins la vulnérabilité est importante.

**SLGRI : Stratégie Locale de Gestion des Risques d'Inondation

***SNGITC : Stratégie Locale de Gestion Intégrée du Trait de Côte

****PCS : Plan Communal de Sauvegarde

*****SDIS : Services Départemental d'Incendie et de Secours

Chaque variable retenue donne lieu à la production d'un indicateur. L'indicateur vise à transformer la donnée source (celle qui a été mesurée sur le terrain ou collectée au sein d'une base de données) en une valeur hiérarchisée. Cette transformation nécessite de considérer deux étapes : la normalisation et l'agrégation.

La normalisation vise à rendre comparables les données collectées dans les quatre composantes. Ces données peuvent être qualitatives, quantitatives, être exprimées dans des unités différentes (distances, surfaces, effectifs, proportions, etc.). Le choix a donc été fait de les ordonner, afin de passer d'une valeur absolue (issue d'une mesure ou d'un fait relevé lors d'une enquête) à une valeur relative. Cette valeur relative est exprimée par une cotation en 5 classes ordonnées (fig. 5.3). En fonction de la nature de la donnée brute, ces classes peuvent être délimitées par des méthodes statistiques, arithmétiques ou empiriques.

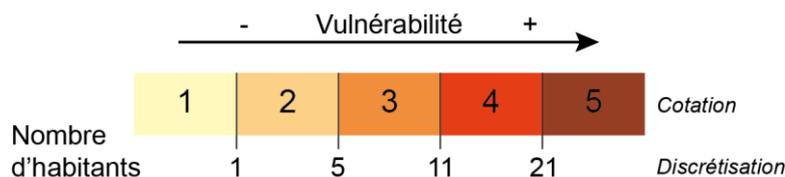


Figure 5.3 : Principe de cotation (exemple de l'indicateur d'enjeu humain basé sur le nombre d'habitants par maille de 200 m)

Les observations nécessaires à la production des indicateurs s'effectuent à différentes échelles – sites, communes et intercommunalités – et selon des emprises spatiales (points, lignes, surfaces, mailles) qui diffèrent selon les composantes. Dans la composante *Représentations*, les enquêtes s'effectuent à l'échelle individuelle (une personne ou un ménage), mais sont restituées à l'échelle communale pour respecter la confidentialité des informations. Dans la composante *Gestion*, l'enquête s'effectue à l'échelle effective de mise en œuvre des mesures réglementaires de prévention et de gestion des risques côtiers, c'est-à-dire la commune qui est, de plus en plus, remplacée pour ces compétences par la communauté de commune. Cette échelle conditionne, en tout cas, l'échelle de restitution des indicateurs de Gestion qui ne peut donc être au minimum que communale. Dans la composante *Aléas*, les mesures s'effectuent sur des points de référence, le long de transects, ou bien sur des portions de littoral présentant une homogénéité morphosédimentaire ou hydrosédimentaire. Dans la composante *Enjeux*, c'est l'échelle de diffusion des données qui définit la granularité. Cependant, s'il est souhaitable de décrire les enjeux avec la meilleure précision possible, pour approcher notamment l'échelle de la gestion des risques côtiers, il est en contrepartie indispensable de garantir la confidentialité des données individuelles.

Pour permettre l'agrégation des données, une maille de 200 m, cohérente avec le carroyage adopté par l'INSEE, a été retenue comme entité élémentaire de description du territoire étudié (fig. 5.4).



Figure 5.4 : Vue de la maille de 200 m employée pour ventiler les données utiles au calcul des indicateurs

Ce maillage offre un bon compromis entre l'effort à mettre en œuvre pour collecter des données à l'échelle d'une région, la précision qu'il est envisageable d'atteindre à partir de ces données collectées et le respect de la confidentialité des informations individuelles. Elle est, par ailleurs, indépendante du découpage administratif, caractéristique fondamentale pour

consigner les données naturalistes de la composante Aléas. Enfin, l'adoption d'une entité standardisée permet d'envisager l'agrégation ou la désagrégation des données pour faciliter l'intégration des indicateurs des différentes composantes dans des indices de différentes natures, tout en évitant l'effet de modification des unités spatiales (Openshaw, 1981).

5.3.2. Place de l'occupation et de l'usage du sol dans les enjeux

Le phénomène de littoralisation et les changements d'occupation et d'usage du sol qu'il induit, tendent à augmenter la vulnérabilité des littoraux aux risques côtiers. La Bretagne n'y échappe pas. La figure 5.5 montre par exemple la transformation d'un polder agricole, donc conquis sur l'espace maritime, en une zone résidentielle dense.

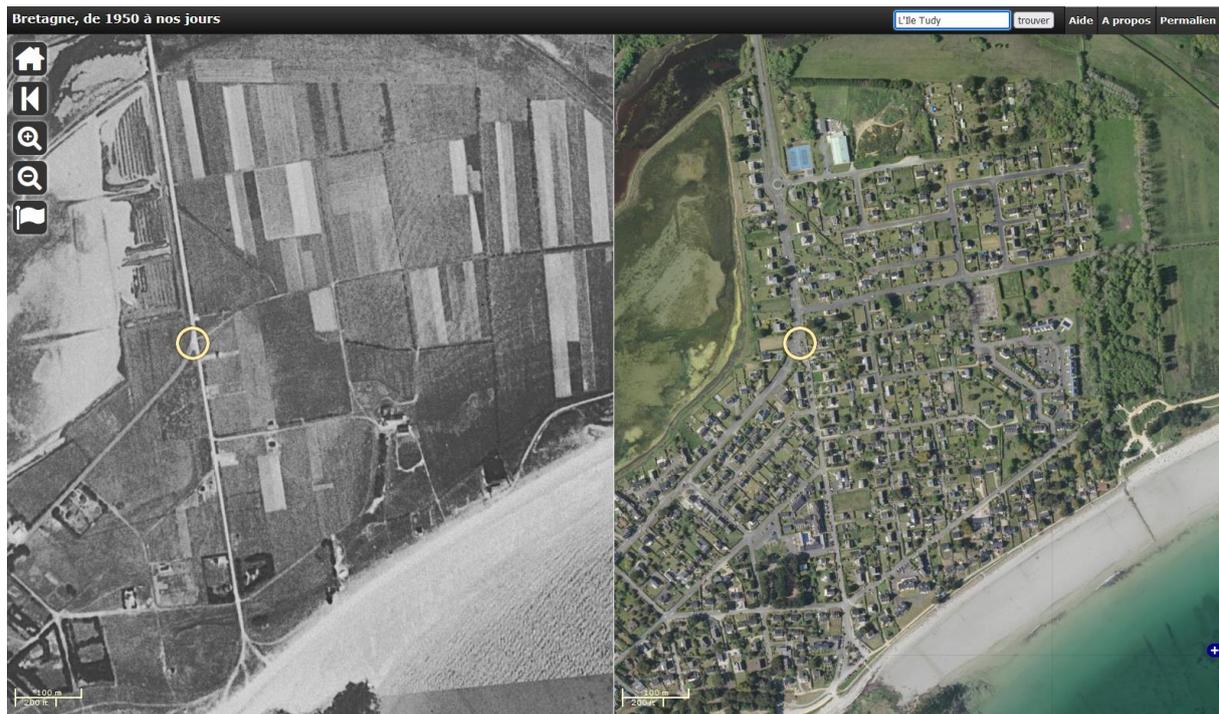


Figure 5.5 : La transformation d'un polder agricole en une zone résidentielle dense : exemple de l'Île-Tudy, Pays bigouden, Sud-Finistère (source : Bretagne 1950-GéoBretagne)

Dans l'intervalle de temps qui sépare ces deux vues aériennes (mission IGN 1952 et orthophotographie 2015 GéoBretagne e-Megalis), l'enjeu a également été transformé : au lieu de terres agricoles plus ou moins intensément exploitées, le site abrite désormais une population permanente, la valeur foncière et immobilière s'est accrue, des infrastructures ont été construites, les risques d'endommagement ont donc augmenté. Dans le même temps, l'aléa a également évolué, mais ce sont bien les enjeux qui apparaissent ici comme les principaux déterminants dans l'émergence du risque. Évaluer la contribution de ces enjeux à la vulnérabilité de ce territoire nécessite de répondre à plusieurs types de questions : quels enjeux faut-il considérer ? Comment les décrire (présence/absence, nombre d'emplois, chiffre d'affaires, variations saisonnières, etc.) ? Comment exprimer leur valeur relative pour permettre leur hiérarchisation (marchande/non marchande ? Valeur économique/d'usage/affective, etc.) ? Où rechercher les données permettant de les caractériser avec pertinence et actualité ?

Sur la première question, à partir d'une revue de la littérature, une structuration des enjeux en quatre catégories a été retenue :

- Les **enjeux humains** reposent sur la vulnérabilité particulière de certaines catégories de population, en fonction de leur âge ou de leur mobilité, par exemple. Mais elle dépend également des situations, aménagements et équipements qui, potentiellement, par leurs caractéristiques, sont susceptibles d'accroître la vulnérabilité des personnes à un aléa. On y intègre, par exemple, les bâtiments de plain-pied évoqués dans le guide PPR (MEDDE, 2014), l'absence de possibilité d'évacuation par le toit ou la distance par rapport aux lieux de refuge (Creach *et al.*, 2015). Lié à l'exposition des individus dont découle une situation de mise en danger jugée inadmissible, l'enjeu humain n'est pas négociable (Reghezza-Zitt, 2012). Il doit faire l'objet d'un traitement prioritaire, car il repose sur le principe de responsabilité collective, notamment celle de l'État et celle du maire, « premier responsable de la sécurité des personnes » (MEDDTL, 2011).
- Les **enjeux économiques** possèdent une dimension plus matérielle pouvant faire l'objet d'une évaluation quantitative, éventuellement monétaire ou patrimoniale. Cette évaluation consiste à rechercher un « compromis, entre les avantages et les inconvénients des projets collectifs ou individuels de développement économique, urbain ou encore social qui impliquent une prise de risque » (Reghezza-Zitt, 2012).
- Les **enjeux structurels** possèdent une dimension opérationnelle liée à la gestion de la crise, en situation (voies d'évacuation, sites refuges, infrastructures de secours et de commandement, activités ou établissements engendrant un risque de suraccident), ou *a posteriori* (ressources en eau, accès à l'énergie, santé et salubrité, etc.).
- Les **enjeux patrimoniaux**, qu'ils soient naturels, culturels ou historiques, sont les plus difficiles à prendre en compte, car ils sont généralement dépourvus de valeur économique d'échange (à l'exemple des écosystèmes, des espaces récréatifs ou des biens culturels). On peut cependant leur associer des services écosystémiques, une valeur affective ou une valeur patrimoniale.

Chaque catégorie est décrite par un ensemble de variables. Comme on l'a vu dans le tableau 5.1, la disponibilité de l'information géographique permet d'envisager la production de la plupart de ces indicateurs à une granularité intéressante dans une perspective d'évaluation locale de la vulnérabilité, tout en les rendant reproductibles aux échelles régionale et nationale.

Toutefois, certains descripteurs ne figurent pas dans les bases de données accessibles : présence d'une ouverture sur le toit, adaptation du bâti (système de confinement, surélévation, présence d'étage refuge, etc.). Ils doivent donc être collectés sur le terrain, ce qui peut imposer de longs travaux d'enquête, limitant d'autant leur extension géographique ou nécessitant d'établir des partenariats avec les collectivités locales et les services de l'État. Ces partenariats sont d'autant plus essentiels que les collectivités bénéficient d'une légitimité territoriale qui rend la collecte de données individuelles acceptable aux yeux des habitants concernés. Par ailleurs, ces données individuelles (statut de l'habitat : principal ou secondaire, caractéristiques des occupants, etc.) possèdent un caractère sensible : leur accès est donc soumis à des conditions légales (CNIL). De plus, certaines données possèdent une valeur stratégique qui, dans le contexte géopolitique et social ambiant, rend leur diffusion sensible.

Une représentation agrégée (à la maille de 200 m comme dans notre cas) peut, éventuellement, permettre le renseignement des indicateurs d'enjeux structurels tout en préservant la confidentialité des données détaillées.

5.3.3. Des indicateurs aux indices : méthodes d'agrégation

Les indicateurs, une fois constitués, peuvent être combinés sous forme d'indices. Dans l'approche que nous avons développée, quatre catégories d'indices ont été distinguées. Elles correspondent théoriquement à trois niveaux d'intégration des indicateurs (fig. 5.6).

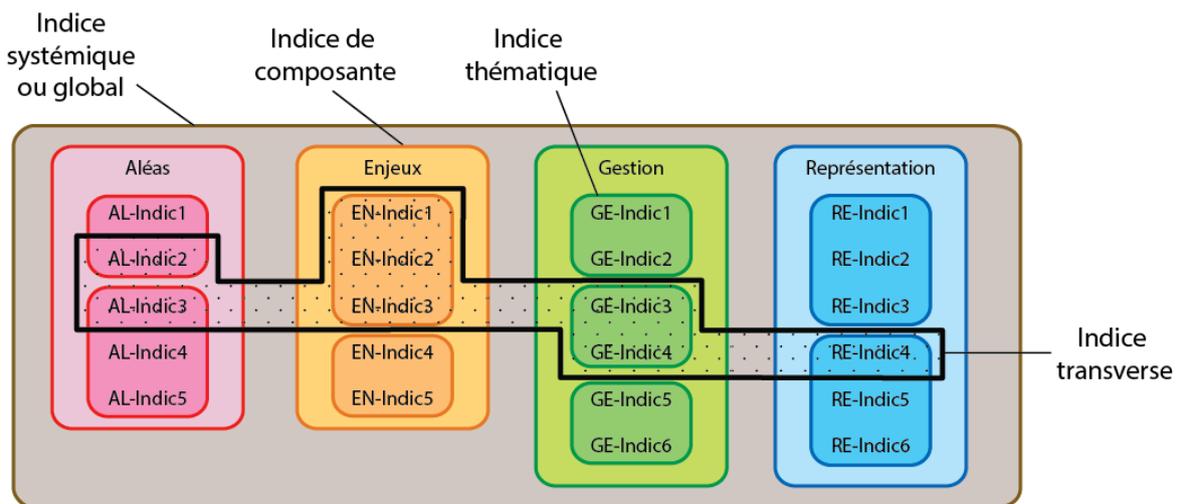


Figure 5.6 : Méthodes d'agrégation des indicateurs

Les indices thématiques intègrent un ensemble restreint d'indicateurs issus de la même composante et décrivant le même thème (par exemple : un indice d'érosion ou un indice d'enjeux humains). L'agrégation des indices thématiques permet de produire un indice de composante (dans notre cas Aléas, Enjeux, Gestion ou Représentations). Les indices transverses constituent une troisième catégorie qui intègre des indicateurs portant sur un aspect particulier : par exemple, la vulnérabilité humaine (Jonkman *et al.*, 2011), la vulnérabilité du bâti à l'érosion côtière (Juigner *et al.*, 2017) ou à la submersion marine (Creach *et al.*, 2015). La dimension transverse de cette catégorie d'indices résulte du fait que les indicateurs ou les indices qui les constituent proviennent de différentes composantes. Dans cette acception, un indice de risque, c'est-à-dire intégrant des indicateurs d'aléas et des indicateurs d'enjeux, constitue un indice transverse. Enfin, les indices de composantes combinés entre eux peuvent donner lieu à un indice systémique décrivant les quatre composantes de la vulnérabilité retenues dans notre approche conceptuelle.

Différentes méthodes de calcul des indicateurs peuvent être employées : elles peuvent être additionnelles, multiplicatives, reposer sur des formules plus élaborées (racine de la moyenne, etc.), introduire ou non des pondérations, faire appel ou non à des méthodes d'analyses multivariées (Sherly *et al.*, 2015). Par exemple, pour l'élaboration de leur CVI, Gornitz, et al. (1997) ont comparé les résultats obtenus à partir de 6 méthodes d'agrégations différentes. À l'issue d'une étude de sensibilité, ils ont retenu une méthode de calcul reposant sur la racine

du produit des indicateurs sur leur nombre. Elle leur a paru constituer le meilleur compromis entre la sensibilité aux erreurs de classification ou aux données manquantes et la clarté de la formulation. Elle a d'ailleurs été reprise dans le SoVI de Cutter *et al.* (2003) et déclinée sur différents sites à partir de variables discrétisées préalablement en 5 classes (Thieler et Hammer-Klose, 1999 ; Abuodha et Woodroffe, 2010). Dans une autre application (Denner *et al.*, 2015), la seule addition des indicateurs est préférée de manière à éviter des actions réciproques de variables. Cependant cette addition peut poser un problème de linéarisation de l'information : des scores plus importants peuvent être obtenus avec des ensembles de valeurs modérées, plutôt qu'avec une seule valeur importante, ce qui ne répond finalement pas aux objectifs de mise en évidence des territoires côtiers les plus exposés.

Une autre question soulevée par l'agrégation de variables est celle de la pondération. Deux principales méthodes ont été identifiées dans la littérature scientifique pour déterminer les facteurs prépondérants et leur attribuer un poids : l'analyse factorielle (Welle *et al.*, 2014) et l'expertise des acteurs locaux et des scientifiques (Kienberger, 2012). Mais le choix d'une pondération traduit un point de vue relativement subjectif qu'il faut clairement expliciter. Elle repose en partie sur des jugements de valeur *a priori*, qui témoignent d'autant de visions politiques et stratégiques de la vulnérabilité (Cendrero et Fischer, 1997 ; Mclaughlin et Cooper, 2010). Ainsi, dans de nombreux travaux, les chercheurs ont choisi de ne pas pondérer les indicateurs ou de proposer une pondération égale (Birkmann *et al.*, 2010 ; Welle *et al.*, 2014), faute de pouvoir justifier pleinement des différences de poids attribuées aux facteurs constitutifs d'un indice.

La revue des indices présentés dans la littérature montre que la démarche visant à la création d'indices est en premier lieu subordonnée à la définition de la vulnérabilité qui est adoptée. En second lieu, elle est dépendante des indicateurs retenus pour décrire les composantes de la vulnérabilité. En ce sens, elle est fortement dépendante des données disponibles pour les décrire et les informer. Enfin, comme l'ont montré Runfola *et al.* (2017), les méthodes de construction d'indices découlent avant tout d'un choix de représentation. C'est donc la vocation finale des indices qui guide leur construction. Par conséquent, si cette revue de l'existant n'apporte pas de réponse toute prête, elle a permis de poser les principes de la production des indices propres à l'observatoire OSIRISC : retenir une formulation simple et donc compréhensible de tous ; éviter la pondération des indicateurs qui peut être difficile à expliciter et à justifier clairement, notamment lorsqu'elle repose sur une expertise à dire d'acteurs ; produire un indice qui permette de clairement discriminer les secteurs littoraux dans les représentations graphiques qui seront issues de leur cartographie.

5.3.4. Représentation des indices : l'interface Web-SIG OSI

La représentation cartographique des indices trouve toute sa légitimité, car elle permet de restituer la vulnérabilité dans sa dimension territoriale (Cutter *et al.*, 2000), tout en offrant un moyen ergonomique et intuitif de pouvoir déconstruire les scores afin de comprendre la contribution relative de ses composantes (Boruff *et al.*, 2005). Pour comprendre la contribution des composantes à la vulnérabilité systémique, nous nous sommes donc attachés à développer un outil permettant d'explorer notre batterie d'indicateurs et d'indices, d'en comprendre les fondements méthodologiques (sources des données, protocoles de production, clés

d'interprétation), tout en permettant de naviguer dans les composantes à travers des indices pouvant être agrégés et désagrégés.

L'exploitation et la restitution graphique de la base de données qui rassemble les variables décrivant chaque composante de la vulnérabilité est assurée par une interface Web-SIG. Elle a pour objectif de permettre à une large gamme d'utilisateurs de naviguer dans les territoires littoraux bretons, de visualiser les indicateurs proposés, d'analyser et de comprendre les facteurs contribuant à la construction des indices (Le Berre *et al.*, 2020). En premier lieu, elle doit permettre l'intégration et le catalogage des données des gestionnaires et des scientifiques dans une base de données cohérente et sécurisée. Elle vise ensuite à mettre à disposition l'inventaire complet des indicateurs, des indices et de leurs métadonnées. Enfin, elle propose un tableau de bord graphique et cartographique interactif permettant de visualiser et de suivre la vulnérabilité dans toutes ses dimensions spatiale, thématique et temporelle. Son architecture repose sur des solutions libres (Marcel *et al.*, 2018) – React.js, PostgreSQL/postGIS et geoserver – à partir desquelles l'interface a ensuite fait l'objet de développements spécifiques visant à améliorer l'ergonomie et l'apparence.

Elle est accessible librement sur internet⁶³. Une fenêtre de présentation du projet permet d'accéder à l'interface de navigation. Celle-ci s'organise autour d'une restitution cartographique qui permet de choisir un territoire (commune ou intercommunalité) et d'un menu de navigation dans l'arborescence des indicateurs et des indices (fig. 5.7). Ces choix effectués, la carte et sa légende s'affichent, de même que ses métadonnées (sous forme simplifiée, mais dont la consultation détaillée peut s'effectuer dans une autre fenêtre). Il est également possible d'interroger chaque maille pour consulter les valeurs des indicateurs qui le composent.

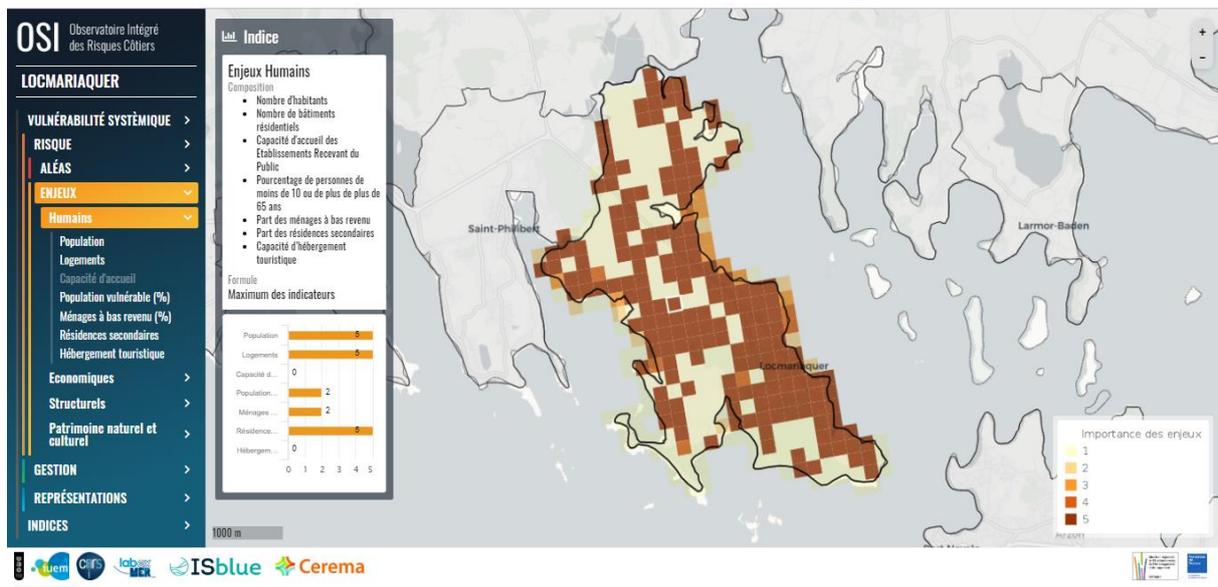


Figure 5.7 : Capture d'écran de l'interface Web-SIG d'OSIRIS

⁶³ <https://www-ium.univ-brest.fr/wapps/osil>

En définitive, l'ensemble du processus de traitement des données en vue de la publication d'indices sur la plateforme Web-SIG OSIRISC se déroule comme décrit dans la figure 5.8.

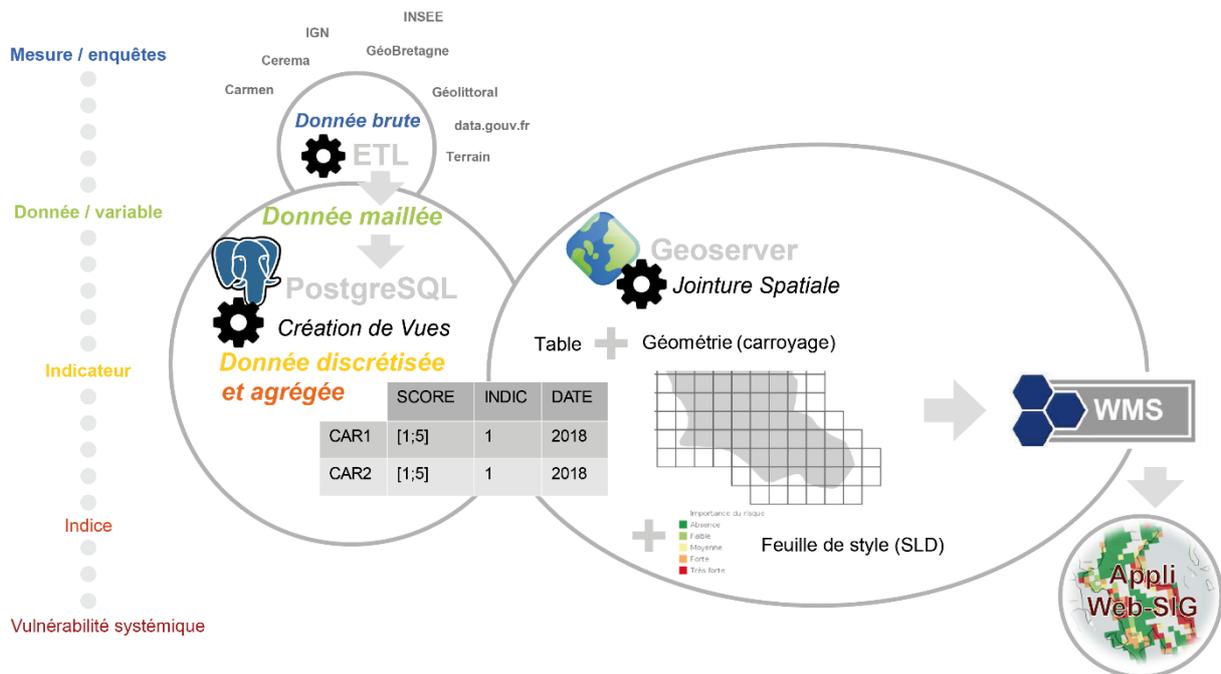


Figure 5.8 : Chaîne de traitement des données de l'application Web-SIG OSIRISC

5.4. Résultats

Plusieurs catégories d'indices sont actuellement intégrées dans OSI.

5.4.1. Les indices d'aléas

Deux indices thématiques, érosion et submersion, sont retenus dans la composante Aléas. Leur valeur maximale constitue ensuite l'indice d'aléas selon la cotation en 5 classes. Les littoraux bretons présentent une grande diversité d'exposition aux aléas qui découle d'une géologie complexe déterminant à la fois la disponibilité des stocks sédimentaires, la succession de pointes rocheuses et d'anses de dimensions variées, l'orientation des côtes par rapport aux vagues et aux vents. Ainsi, à l'exception de la baie d'Audierne et de la baie du Mont-Saint-Michel, les espaces exposés aux aléas apparaissent plutôt fragmentés et de dimensions relativement réduites. Quelques espaces ressortent toutefois : régions de Saint-Malo, Trégor, Côte des légendes, Baie d'Audierne et Pays Bigouden plus particulièrement pour l'érosion côtière ; s'y ajoutent les régions basses de la baie du Mont-Saint-Michel à Saint-Malo, du Haut-Léon Côte des Légendes au nord, et au sud les Pays Bigouden et de Fouesnant jusqu'à Concarneau, de Lorient à Etel, puis le Golfe du Morbihan, régions basses de surcroît soumises aux submersions marines. Les aléas d'érosion et de submersion étant le plus souvent étroitement associés, ils ont été représentés sur la même carte (fig. 5.9).

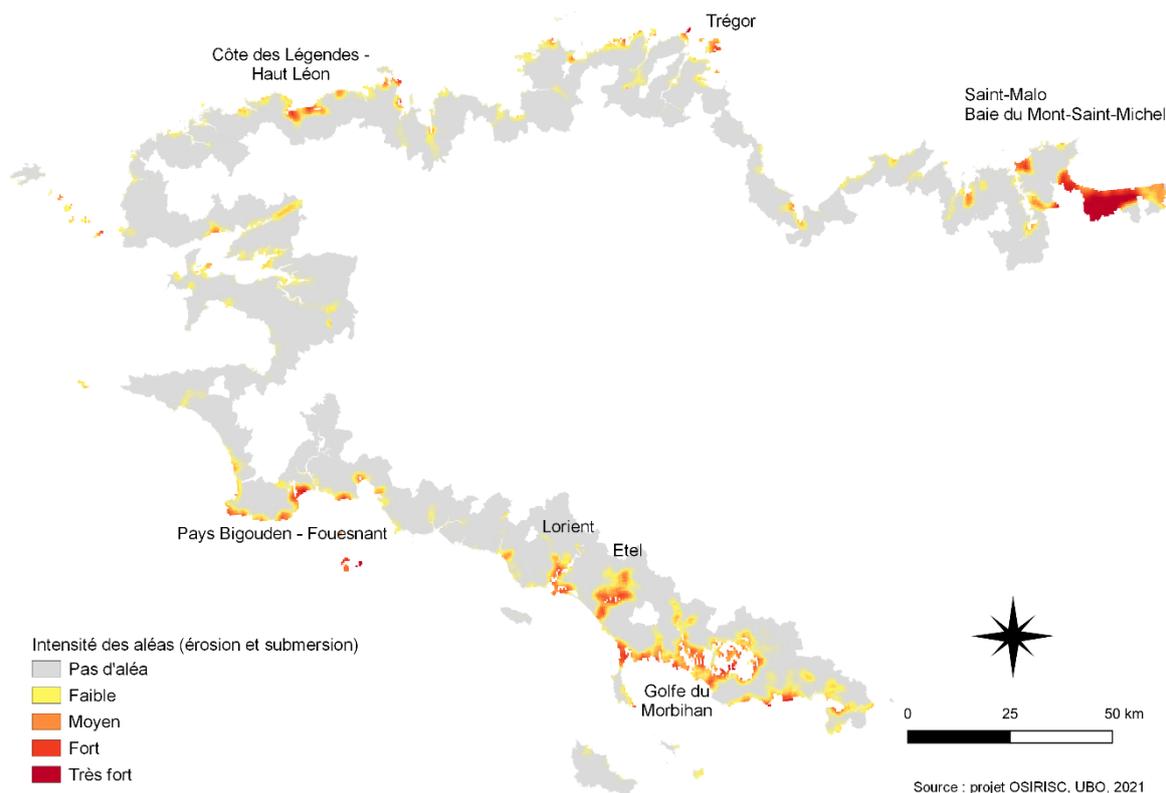


Figure 5.9 : Exposition aux aléas d'érosion et de submersion marine

5.4.2. Les indices d'enjeux

Ils reposent également sur la valeur maximale des indicateurs constitutifs, ce qui permet d'identifier les mailles dans lesquelles les enjeux sont les plus importants. Quatre indices thématiques sont proposés : enjeux humains (la vie humaine en fonction de la composition sociodémographique), économiques (les emplois, les entreprises et l'accueil touristique), structurels (les équipements et les infrastructures) et enjeux agricoles et naturels. Ces derniers ne sont pas intégrés dans l'indice de composante dans la mesure où les terres agricoles et les espaces naturels peuvent exercer un double rôle : par leur valeur économique ou patrimoniale, ils constituent des enjeux à proprement parler ; mais ils sont également susceptibles de constituer des zones tampons entre aléas et enjeux (cas des prés salés ou des marais maritimes par exemple). Les enjeux sont aussi répartis sur l'ensemble du littoral breton, avec quelques secteurs de forte densité (fig. 5.10).

La région Bretagne se distingue par son urbanisation périphérique, donc essentiellement littorale, pour des raisons historiques qui tendent à se renforcer depuis les années 1960 avec un important processus de littoralisation des populations et des activités. Parmi les secteurs où se concentrent les enjeux, on retrouve ainsi les villes principales du nord au sud : Saint-Malo, Saint-Brieuc, Morlaix, Brest, Lorient et Vannes. Ces villes regroupent les plus fortes densités de population d'activités économiques (emplois et entreprises) et d'infrastructures. Mais en dehors de ces pôles urbains, la dispersion de l'habitat en milieu rural et périurbain rend générale la présence des enjeux humains et bâtis sur le littoral breton. La distribution des

enjeux agricoles et naturels s'inscrit en quelque sorte en négatif des enjeux humains, économiques et structurels. Outre les enjeux économiques liés à la production agricole et à la valorisation touristique du patrimoine, elle matérialise des espaces de moindre densité qui, en tant que coupure d'urbanisation, peuvent participer à l'atténuation de la vulnérabilité du littoral aux risques côtiers.

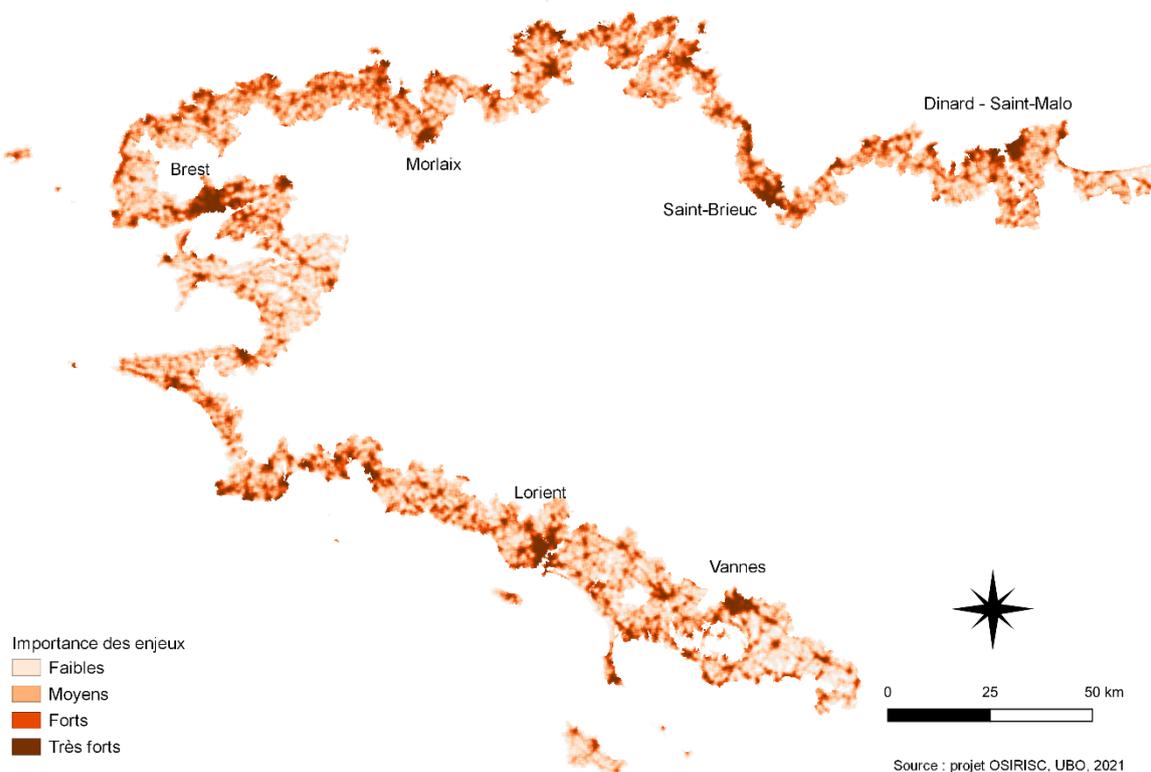


Figure 5.10 : Indice de composante enjeux

5.4.3. Les indices de gestion

Les indices de la composante Gestion sont établis à partir de la moyenne des indicateurs. En effet, il s'agit d'évaluer l'ensemble du dispositif de gestion mis en œuvre par les territoires concernés (commune ou intercommunalité) pour prévenir, anticiper et gérer les crises, ainsi que pour sensibiliser la population. Or, le dispositif français de gestion des risques est particulièrement complexe et comporte plusieurs dimensions : prévention, sensibilisation et gestion de crise (Cazaux *et al.*, 2019 ; Meur-Ferec et Rabuteau, 2014). Il a été défini progressivement, au fur et à mesure de la prise de conscience par les pouvoirs publics des problématiques liées aux risques côtiers. Certains événements ont joué un rôle majeur dans l'évolution de la législation. Par exemple, la tempête Xynthia, qui a affecté les côtes atlantiques lors de l'hiver 2010 et provoqué près de 50 morts, a eu des répercussions majeures sur la législation du risque (Cour des Comptes, 2012 ; Creach, 2019 ; Vinet *et al.*, 2012). Mais la profusion des outils ainsi que la difficile articulation entre des stratégies souvent conçues au niveau national ou européen et leur application aux situations locales, se traduisent par une mise en œuvre très progressive des dispositifs de gestion et par des décalages entre les textes

et le terrain (Meur-Ferec et Rabuteau, 2014). Les collectivités doivent donc sélectionner et prioriser les actions à mettre en œuvre, au sein du panel des outils proposés, en fonction des caractéristiques de leur territoire, de leurs priorités politiques et de leurs moyens d'action. Par conséquent, l'objectif est tout autant d'évaluer la forme donnée à cette gestion, que l'exhaustivité des moyens mis en œuvre et leur efficacité globale. Dans tous les cas, les indicateurs de gestion doivent être collectés en étroite collaboration avec les gestionnaires des territoires, notamment les collectivités. C'est pourquoi notre base de données ne couvre pas encore l'ensemble du littoral breton.

En plus d'un tableau de bord de l'avancée de la gestion des risques, notre approche témoigne de choix politiques différents selon les caractéristiques des territoires. Il s'agit en effet de donner aux acteurs publics (collectivités territoriales, services de l'État) les moyens d'identifier les forces et faiblesses des territoires et les leviers supplémentaires qui seraient actionnables pour diminuer leur vulnérabilité, le cas échéant. En effet, la mise en place de certaines mesures de gestion n'est nécessaire que s'il y a un risque important. Certains indicateurs de gestion pourront donc apparaître faibles sur certains territoires sans que cela pose de problème du fait qu'il n'y a pas de risque associé.

5.4.4. Cas des représentations sociales

La contribution de la composante *Représentations* à la vulnérabilité systémique est plus complexe à apprécier. La conscience du risque, la confiance dans les dispositifs de gestion et leur approbation peuvent tout autant constituer des atouts dans la prévention des risques et la préparation aux situations de crise (attention et implication personnelle, mise en place de mesures d'adaptation et d'atténuation, etc.), que procurer un sentiment de sécurité (confiance totale dans la gestion, non-engagement dans la mise en place de mesures collectives, etc.) (Meur-Ferec et Guillou, 2020). Les représentations sociales constituent donc une composante importante pour les gestionnaires, car elles renseignent sur ce que pensent les habitants et les acteurs d'un territoire. Elles participent ainsi au diagnostic de la vulnérabilité, mais en l'état actuel de nos travaux, ne permettent pas la production d'un indice systémique. Elles font cependant l'objet d'un traitement différencié qui sera présenté plus loin.

5.4.5. Indices transverses

Les indices transverses résultent de la confrontation d'indices ou d'indicateurs de différentes composantes et sont destinés à mettre en évidence les sites présentant des problématiques particulières d'exposition aux risques, par exemple pour le bâti, et de sa gestion, particulièrement en situation de crise.

L'exemple de l'indice de risque est présenté ici. Les modes de production des indices et les résultats auxquels ils aboutissent peuvent être consultés dans l'interface web-SIG OSI. C'est bien la concomitance d'aléas et d'enjeux qui détermine l'exposition au risque. L'indice de risque est produit en utilisant la logique de la matrice de la figure 5.11. Un risque est avant tout la probabilité qu'un aléa d'une magnitude (taille, ampleur) donnée se produise en affectant des enjeux qui y sont exposés. Cartographier le risque c'est dire que, si l'aléa se produit avec une magnitude donnée, il aura certaines conséquences sur les enjeux exposés

(par exemple, situés en zones basses ou sur le front de mer). L'attribution d'une valeur à chacune des cases de cette matrice, au croisement d'une valeur d'aléa et d'une valeur d'enjeu, a été réalisée « à dire d'expert », avec l'intention d'optimiser la répartition des valeurs de risque sur toute l'échelle. De l'absence d'aléa (coté 1), ou d'enjeux (coté 1), découle l'absence de risque. L'échelle des indicateurs est calibrée sur les situations rencontrées en Bretagne. Des valeurs plus importantes existent sur d'autres sites en France. Les couleurs choisies sont volontairement contrastées de façon à attirer l'attention sur les zones les plus à risque, localement.

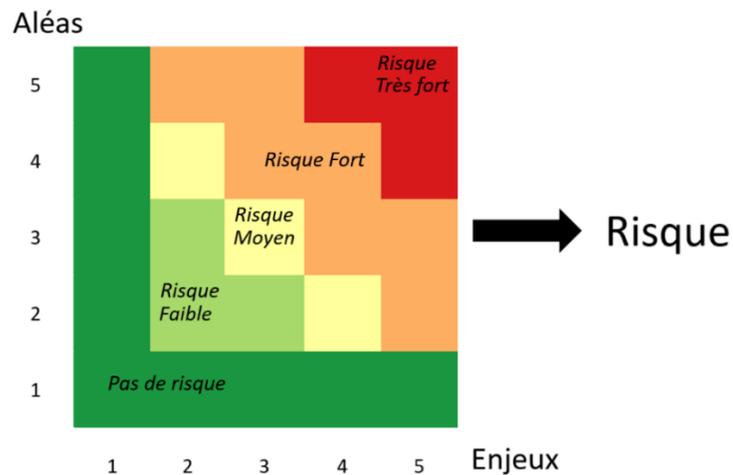


Figure 5.11 : Matrice de risque résultant du croisement des aléas observés (l'érosion) ou potentiels (zones basses submersibles) et des enjeux

Une part importante du littoral breton n'apparaît pas exposée aux risques côtiers, que ce soit par la faible densité d'enjeux ou bien par sa nature morphosédimentaire qui le rend peu sensible aux aléas (côtes hautes à falaises de roches résistantes telles que granites et grès), comme dans la presqu'île de Crozon, le Cap Sizun ou les îles notamment (à l'exception notable de l'île de Sein). S'ils sont relativement fragmentés, les littoraux exposés aux risques côtiers occupent des espaces importants localement : Baie du Mont-Saint-Michel – Saint-Malo, Pays Bigouden-Fouesnant-Concarneau, Lorient-Etel, Golfe du Morbihan (fig. 5.12).

Le maillage de 200 m est assez englobant, notamment pour l'aléa érosion, aussi les chiffres doivent-ils être considérés avec prudence, car ils tendent à surestimer le risque. Avec cette granularité, le littoral exposé à l'érosion occupe une surface de 4 392 ha sur un total de 70 000 ha d'espace côtier, soit 6,3 % seulement. Les enjeux exposés à cet aléa y sont donc quantitativement restreints et très localisés, mais leur endommagement est irrémédiable. L'aléa submersion concerne quant à lui une surface de 56 000 ha sur un total de 81 500 ha (69 %) de zones basses, dont 15 000 ha (18,5 %) sont potentiellement exposés à une submersion supérieure à 2,50 m. L'analyse montre surtout qu'érosion et submersion apparaissent généralement associées, alors que les modalités de gestion de ces risques restent encore souvent séparées dans le dispositif français.

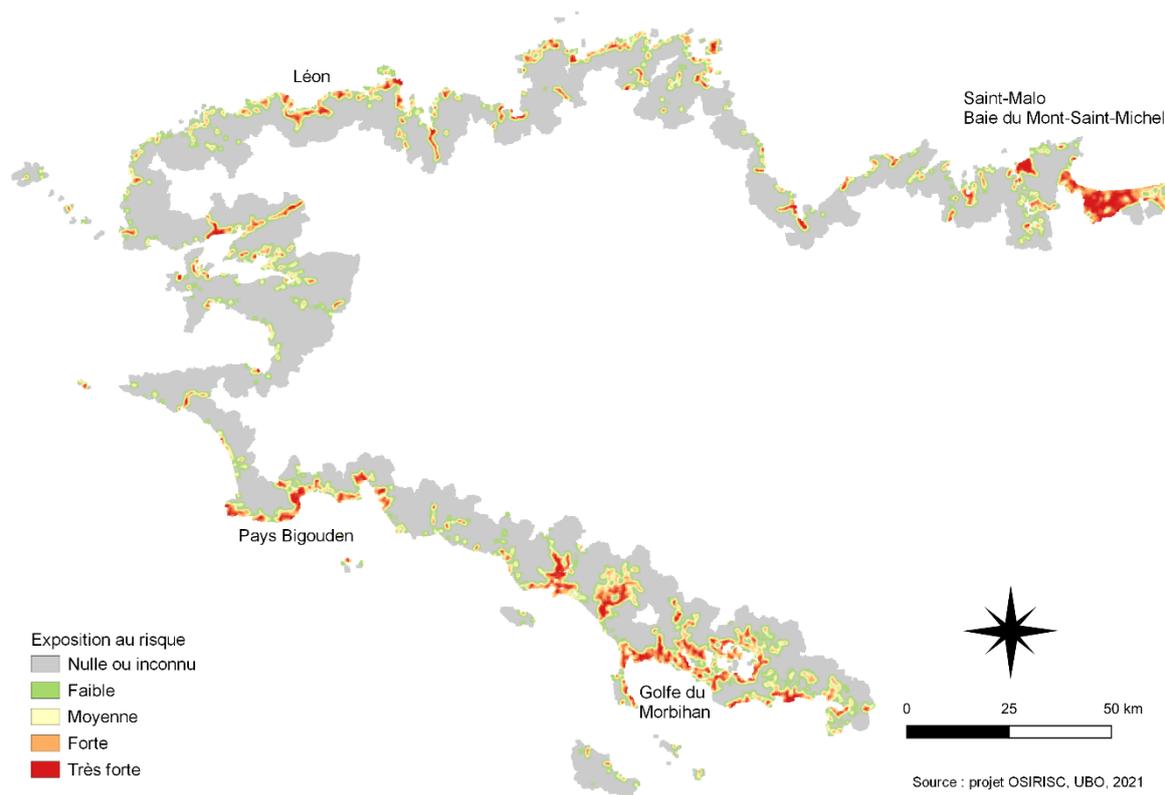


Figure 5.12 : Exposition du littoral breton aux risques côtiers (érosion et submersion)

Au total (tab. 5.3), 170 000 personnes résident dans les mailles exposées à l'érosion ou à la submersion à l'échelle régionale, dont près de 70 000 en zone très exposée. 168 000 bâtiments résidentiels sont exposés aux aléas littoraux. Sans que les données disponibles permettent de l'estimer avec précision, cet effectif comporte une part importante de résidences secondaires : leur proportion s'établit en effet à 13 % à l'échelle régionale, mais dépasse fréquemment 50 %, voire 70 % sur le littoral, comme dans le Golfe du Morbihan ou dans les îles⁶⁴.

Tableau 5.3 : exposition des enjeux aux risques côtiers

Exposition aux aléas littoraux	Hors zones exposées	Faible	Moyenne	Forte	Très forte	Total zones exposées
Population (nb)	1 018 430	46 658	25 721	28 622	69 931	170 932
Bâti résidentiel (nb)	683 873	42 113	25 317	30 942	69 370	167 742
Emploi (nb)	502 563	30 414	15 486	15 937	67 336	129 173
Bâtiments industriels, commerciaux et agricoles (emprise en m2)	26 680 408	775 587	497 267	469 629	1 866 823	3 609 305
Terre agricole (surf. ha)	222 658	4 608	3 426	4 287	9 531	21 852
Patrimoine (nb monuments)	811	88	48	86	238	460

⁶⁴ Chiffres 2016 de l'INSEE : <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2521169>

Le nombre d'emplois exposés à la submersion est estimé à près de 130 000, dont plus de 67 000 dans les zones les plus exposées. D'importantes surfaces de locaux industriels, commerciaux et agricoles sont implantées dans les mailles exposées (3,6 millions de m²), dont plus de la moitié en zone de très forte exposition. En outre, les terres agricoles peuvent localement être exposées aux aléas, notamment dans les zones basses (près de 22 000 ha, dont 9 500 en zones très fortement exposées), tout particulièrement dans la baie du Mont-Saint-Michel qui constitue un espace largement poldérisé. Enfin, 460 monuments historiques se situent dans les mailles exposées, dont 238 avec une exposition très forte. Bien qu'il s'agisse majoritairement de petit patrimoine, ces monuments participent fortement à l'identité territoriale et contribuent à l'attractivité touristique de la Bretagne. Ils peuvent donc justifier des mesures de gestion particulières.

L'exposition au risque ne suffit pas à déterminer la vulnérabilité. Outre l'exposition, les caractéristiques intrinsèques des enjeux y participent, tandis que les mesures de gestion visent à l'atténuer.

5.4.6. Vers une analyse de la vulnérabilité systémique

La vulnérabilité systémique à l'érosion et la submersion marines consiste à prendre en compte ses quatre composantes : les aléas « ce qui peut arriver » ; les enjeux « ce que l'on risque de perdre » ; la gestion ou « moyens mis en œuvre pour limiter les dommages » ; les représentations « ce que pensent les gens des risques et de la gestion ».

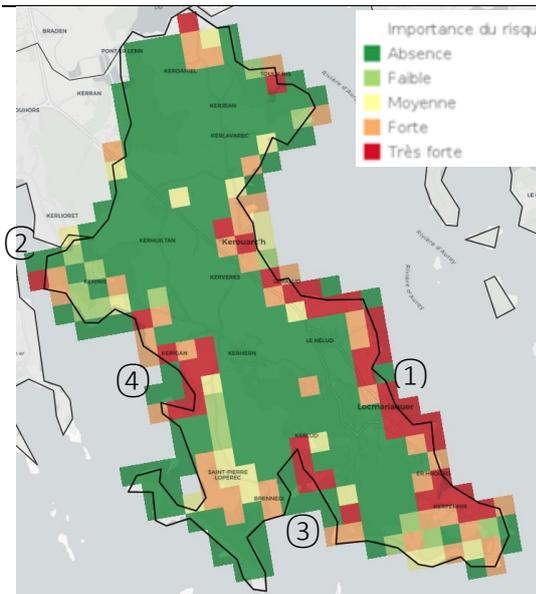
Les aléas et enjeux combinés constituent le risque. La gestion vise à atténuer le risque. Les représentations peuvent aller dans le sens de l'accentuation ou de la réduction de la vulnérabilité, mais dans tous les cas, sa meilleure connaissance réduit la vulnérabilité en apportant des éléments de compréhension aux gestionnaires et aux chercheurs. Sa prise en compte vise à apporter une compréhension du contexte local regroupant les aléas vécus ou perçus, les enjeux estimés, l'évaluation personnelle de la gestion, ainsi que l'attachement au territoire sur lequel vivent les individus.

Ces quatre dimensions doivent être considérées avec la même attention, leur prise en compte conjointe étant une condition de la compréhension holistique de la vulnérabilité systémique. Cela dit, les quatre composantes ne sont pas présentées de la même façon : les indicateurs d'aléas et d'enjeux sont combinés afin d'obtenir un indicateur de risque coté de 1 à 5 et qui peut être retranscrit cartographiquement par maille de 200 m. Les indicateurs de gestion étant homogènes à l'échelle d'une commune, il est intéressant de les présenter individuellement de façon à analyser les leviers de gestion permettant de faire face au risque. Les représentations, quant à elles, bien que faisant l'objet d'indicateurs chiffrés, sont plus facilement compréhensibles et plus rigoureusement présentées par une analyse textuelle. Ces différents modes de restitution sont donc mobilisés pour proposer une vision de la vulnérabilité systémique pour laquelle il n'est pas proposé d'indice chiffré.

À titre d'exemple, sur la commune de Locmariaquer dans le Morbihan, on peut synthétiser la présentation des quatre dimensions comme dans le tableau 5.4 extrait du rapport final du projet OSIRISC (Hénaff et al., 2020).

Tableau 5.4 : Exemple d'analyse de la vulnérabilité systémique à Locmariaquer, Morbihan (Hénaff et al., 2020)

Le risque : combinaison des aléas et des enjeux

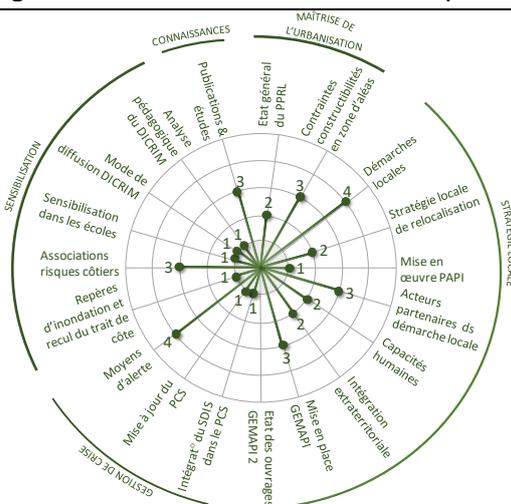


À Locmariaquer, les zones identifiées comme les plus exposées aux risques côtiers sont situées sur la côte orientale de la commune ① où se concentrent beaucoup d'enjeux humains et des zones basses potentiellement submersibles. D'autres secteurs nécessitent une attention particulière. On peut citer :

- Kerinis ② avec un risque de submersion en présence de population vulnérable ;
- Kerlud ③ (où la part des ménages à bas revenus apparaît également importante) ;
- Le Falzen ④ pour les mêmes raisons, auxquelles il faut ajouter le réseau routier et un ouvrage de protection contre la mer.

Attention : les zones basses potentiellement submersibles sont surestimées : une partie seulement de chaque carré de 200 m de côté peut être concernée par un risque de submersion. Le risque de submersion pris en compte est celui du niveau centennal (une chance sur 100 de se produire chaque année).

La gestion : facteur d'atténuation du risque



Chaque indicateur est représenté par un rayon du diagramme en roue. Plus le rayon est allongé (s'approchant de 5), plus la gestion contribue à diminuer la vulnérabilité du territoire. Lorsque l'information n'est pas disponible (ex. : État des ouvrages GEMAPI 2), l'indicateur n'est pas renseigné.

En 2018, pour Locmariaquer l'indice de la composante de gestion est de 2,1 sur 5.

Les indicateurs de gestion n'ont pas tous vocation à atteindre le niveau maximal de l'échelle. La gestion s'entend, en effet, comme une stratégie d'atténuation du risque possible ou avéré.

Ainsi, compte tenu des causes du risque sur la commune de Locmariaquer, les leviers de gestion sont essentiellement relatifs au PPRL, aux contraintes de constructibilité, à la GEMAPI (gestion des ouvrages), au PCS, aux moyens d'alerte, et aux repères d'inondation.

Les représentations : aléas vécus ou perçus, enjeux estimés et évaluation personnelle de la gestion

Les représentations sociales des risques ont été évaluées par des enquêtes réalisées sur 5 communes (Auray, Locmariaquer, St-Philibert, Pluneret et Crac'h). Les résultats présentés ici sont valables pour tout ce territoire. Les personnes interrogées sur les problématiques qui touchent leur commune placent les risques côtiers en 4^{ème} position, ce qui démontre une certaine conscience du risque sans que cette question soit vue comme prépondérante localement. Les personnes interrogées au sujet de leur préoccupation envers les risques côtiers se sentent peu inquiètes envers les aléas et encore moins pour les enjeux. Plus de la moitié se déclare hors zone à risque. Sur la gestion des risques côtiers, les personnes enquêtées déclarent avoir le plus confiance dans les scientifiques, suivis par les associations locales de riverains, la mairie, les habitants en résidence principale, la Région et la Préfecture. Enfin, les actions collectives permettant de faire face aux risques côtiers ont été jugées majoritairement efficaces avec, par ordre décroissant : l'entretien et la restauration des dunes, l'interdiction de construire en zone « rouge », l'apprentissage des consignes de sécurité, l'alerte et l'évacuation, l'amélioration des procédures de gestion de crise, la démolition et le recul des habitations, la construction d'ouvrages de protection, leur consolidation.

Sur ce territoire, on peut conclure que les personnes interrogées ont connaissance du risque, mais n'en sont pas préoccupées. Elles placent principalement leur confiance dans la science et en second lieu dans les institutions locales. Les actions jugées efficaces s'appliquent à l'existant ; elles souhaitent sans doute pas ou peu de changements.

5.5. Conclusion : passer de l'état à la trajectoire de vulnérabilité systémique

Même s'il en constitue un élément important, notamment par la part qu'il prend dans l'émergence du risque, on voit que l'usage du littoral ne constitue qu'une seule composante de la vulnérabilité des territoires aux risques côtiers. Or, chaque composante possède ses dimensions propres, ainsi que ses temporalités. En ce qui concerne les aléas, les événements extrêmes se déroulent généralement dans un laps de temps bien défini, avec des impacts souvent manifestes, tandis que les effets du changement climatique se matérialisent lentement sur des échelles de temps souvent difficiles à percevoir (Hénaff *et al.*, 2013 ; Shepard *et al.*, 2012). Les enjeux tendent à se concentrer sur le littoral, s'exposant donc davantage aux aléas et favorisant ainsi l'émergence du risque (Meur-Ferec et Morel, 2004). En contrepartie, les pouvoirs publics procèdent à la définition et à la mise en place de dispositifs de gestion des risques qui, du fait de leur complexité, s'opèrent très progressivement et de manière différenciée selon les territoires, leurs caractéristiques et les choix de développement portés par les acteurs politiques et socio-économiques (Meur-Ferec et Rabuteau, 2014). Enfin, les représentations sociales évoluent au gré des événements et du ressenti des habitants et usagers du littoral (Meur-Ferec et Guillou, 2020). Dans ces conditions, l'analyse de la vulnérabilité systémique doit nécessairement reposer sur une démarche de suivi qui s'inscrit dans différentes échelles de temps. Ce type de démarche renvoie à la notion de trajectoires de vulnérabilité (Gallopín, 2006 ; Magnan *et al.*, 2012), très pertinente notamment dans la perspective d'une observation à long terme, mais également d'une opérationnalisation à la recherche de bonnes pratiques de gestion.

Or, à ce stade de nos travaux, seul l'état actuel de la vulnérabilité a été restitué. Sans devoir attendre l'évolution des indicateurs à partir d'aujourd'hui, une approche rétrospective permettrait d'explorer les trajectoires de vulnérabilité. Elle dépend toutefois de la disponibilité de données historiques qui est très variable selon les thématiques. Inenvisageable pour les représentations, elle est réalisable pour certains enjeux (par l'analyse des changements d'occupation du sol, à partir de différents millésimes de la BD Topo IGN par exemple) et certainement pour la gestion, dont la mise en place peut être reconstituée. Une approche prospective peut également s'envisager à travers la planification urbaine et les projets de territoire. En effet, les choix politiques actuels auront des conséquences sur la vulnérabilité future des territoires. Développer cette approche temporelle constitue une perspective de recherche amorcée dans le cadre de deux projets internationaux dans lesquels je suis impliqué : l'ANR franco-canadienne ARICO et le projet Interreg AGE0.

Partie 3

Perspectives de recherche, trajectoires d'occupation du littoral

Cette troisième partie est consacrée aux perspectives de recherche qui se dégagent des partenariats et des travaux présentés dans le second chapitre de ce mémoire, ainsi que des nouveaux projets qui s'amorcent.

L'occupation et l'usage du littoral sont par essence des processus dynamiques, dont il est possible de décrire différents stades, incluant des notions de réversibilité ou de résilience. Mais cela suppose, de fait, d'intégrer pleinement la composante temporelle, seule à même de permettre la description de ces occupations et usages, de leurs séquences d'implantation et des aménagements liés, de même que leurs concomitances et leurs interrelations.

C'est la raison qui me motive à proposer des perspectives de recherche axées sur la notion de trajectoire, en tant qu'approche multidimensionnelle et multiscalaire, visant à décrire des dynamiques de territoires. Ces dynamiques peuvent être organisées séquentiellement, mais avec des temporalités variables. Elles possèdent également une certaine dimension aléatoire.

Les progrès réalisés en un peu plus d'une décennie dans la structuration de l'information géographique, et dans sa diffusion auprès d'un large panel d'utilisateurs sous une forme aisément mobilisable, constituent un apport très bénéfique à l'étude de l'évolution des systèmes spatiaux, notamment littoraux, ainsi qu'à l'analyse de leurs facteurs déterminants et de leurs effets. La mise à disposition de référentiels géographiques, couvrant de manière homogène le territoire national, permet d'étendre significativement les sites d'étude, autrefois fortement contraints par l'effort à consacrer à la production de la donnée. Elle favorise la reproductibilité des méthodes, donc la multiplication des cas d'étude et leur comparaison. L'amélioration de l'échelle spatiale de restitution de l'usage du sol permet d'articuler les recherches avec les demandes des gestionnaires du littoral et leurs problématiques, tout en autorisant des approches multiscalaires, basées notamment sur l'agrégation de données. Elle permet également, grâce à la disponibilité des données cadastrales, d'atteindre la granularité d'évolution de l'usage du sol à l'échelle de la parcelle foncière, entité élémentaire à laquelle s'appliquent les choix des ménages, de même que les décisions des gestionnaires dans le cadre de la planification urbaine. Enfin, la cohérence des données et leur richesse thématique permettent d'envisager leur exploitation combinée, pour constituer des bases de données « à façon » pouvant être adaptées à l'analyse de problématiques très variées.

Toutefois, le développement d'une information géographique de qualité et sa mise à disposition constituent des apports récents qui limitent de fait la profondeur historique d'analyse des évolutions du littoral. Or la restitution de cette dimension temporelle est indispensable pour comprendre les dynamiques récentes et en cours, dégager des tendances, identifier des événements structurants, et tenter de se projeter dans l'avenir. C'est pourquoi mes perspectives de recherche s'appuient sur la notion de trajectoire. Cette partie s'attachera donc dans un premier temps à définir un cadre conceptuel s'appuyant sur cette notion, avant d'en proposer l'application à trois thématiques, qui constituent des prolongements des travaux présentés dans ce mémoire : a) les dynamiques d'urbanisation résidentielle, leurs conséquences sur la consommation de l'espace littoral et l'efficacité de la réglementation pour les contrôler ; b) les implications de ces dynamiques en termes d'exposition et surtout de vulnérabilité des territoires aux risques côtiers ; enfin, c) l'évolution de la qualité de l'eau dans les petits estuaires bretons au regard de l'occupation et de l'usage de leurs bassins versants.

6. Trajectoires d'occupation et d'usage du littoral, déterminants et conséquences

6.1. Le littoral breton comme terrain de recherche

Ces dernières années, la Bretagne figure parmi les régions les plus dynamiques de France au plan démographique et des changements d'occupation du sol. Sa population totale et sa population active y augmentent en moyenne plus rapidement que dans l'ensemble de la France métropolitaine (tab. 6.1). Le nombre de logements mis en construction et le taux d'artificialisation y sont supérieurs.

Tableau 6.1 : Chiffres clefs de la Bretagne, démographie et occupation du sol (sources Insee, Agreste)

	Bretagne	France
Variation annuelle de population (2013-2018) ⁶⁵	+0,5%	+0,4%
Variation annuelle des actifs (2006-2016) ⁶⁶	+0,7%	+0,5%
Personnes âgées (plus 60 ans en 2019)	29,5%	26,9%
Jeunes adultes (25-34 ans en 2019)	10,2%	11,6%
Enfants (moins de 15 ans en 2019)	16,9%	17,6%
Evolution annuelle moyenne du nombre de logements commencés (2013-2018)	+4,9%	+3,2%
Résidences secondaires (2017)	13,3%	10%
Espaces artificialisés (2018) ⁶⁷	12,4%	9%
Terres agricoles (2018)	63,9%	51,5%
Espaces naturels (2018)	23,8%	39,5%
Évolution annuelle moyenne de l'artificialisation (1982-2018)	+1,3%	+1,2%
Évolution annuelle moyenne des terres agricoles (1982-2018)	-0,2%	-0,2%

Les dynamiques observées y présentent cependant des facteurs potentiels de déséquilibre. La population est plus âgée qu'en moyenne nationale et cette tendance s'est accentuée au cours des dernières années. Ce vieillissement risque de s'accroître encore, alimenté en outre par l'arrivée (ou le retour) de nombreux retraités dans la région. En conséquence, la Bretagne est la région métropolitaine qui compte la plus faible proportion de jeunes adultes (25-34 ans), en lien avec un fort déficit migratoire des jeunes actifs. Dans le même temps, l'occupation du sol est à la fois plus artificialisée (3,4% plus que la France métropolitaine) et plus agricole (12,4% plus !), la part des espaces naturels y étant par conséquent plus restreinte. Sur le littoral, l'artificialisation est encore plus exacerbée (23%), situant la Bretagne dans la moyenne nationale⁶⁸. Elle s'effectue au détriment de l'espace agricole qui n'y occupe plus que 45% et qui est surtout très morcelé⁶⁹. Les espaces naturels, quant à eux, sont davantage protégés, en raison

⁶⁵ Insee, Bilan démographique 2019, Bretagne, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4776248>

⁶⁶ Insee, Bilan économique 2019, Bretagne, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4475752?sommaire=4475946#tableau-figure1>

⁶⁷ Agreste, L'occupation du sol entre 1982 et 2018 https://agreste.agriculture.gouv.fr/agreste-web/download/publication/publie/Dos2103/Dossiers%202021-3_TERUTI.pdf

⁶⁸ CGDD 2012, trois quarts des rivages métropolitains sont non artificialisés, <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2018-10/lps153-rivages-v2.pdf>

⁶⁹ Voir site du projet Parchemin <http://www.parchemins.bzh/wp-content/uploads/2021/03/Fiche-re%CC%81sultat-Parchemins-n%CC%B01-Diversite%CC%81-des-agricultures-sur-le-littoral-breton.pdf>

de leur forte valeur patrimoniale et économique, notamment du fait de leur rôle de produit d'appel touristique (§1.1 et §4.3.1). Dans l'ensemble de la région, l'artificialisation progresse plus rapidement qu'au plan national (0,1% de plus). De même, l'évolution de la construction de logements est supérieure en Bretagne à celle enregistrée au plan métropolitain. Mais d'importantes disparités s'observent entre les départements : alors que l'Ille-et-Vilaine, le Morbihan et le Finistère dépassent tous les 5% d'évolution moyenne annuelle, les Côtes-d'Armor atteignent à peine 0,4%.

Les inégalités régionales s'observent en fait à deux niveaux. Déséquilibre en premier lieu, entre littoral et intérieur, comme le montre l'exemple des résidences secondaires. L'importante proportion qu'elles occupent dans le parc de logement régional, déjà significativement supérieure à la moyenne métropolitaine (13,3% en 2017, contre 10% en moyenne nationale), dépasse les 20% dans les bassins de vie littoraux, atteignant même plus de 50% dans ceux du Morbihan (60% dans celui de Quiberon-Carnac et 70% à Sarzeau) ! Si ces chiffres peuvent traduire une offre insuffisante de logements principaux⁷⁰, ils constituent également sans conteste un témoignage de l'attractivité du littoral breton, dont de larges portions restent encore relativement préservées de l'urbanisation et dotées d'aménités environnementales et paysagères à la base d'une qualité de vie largement promue par les collectivités territoriales (Le Dû-Blayo, 2007)⁷¹. Mais cette évolution se traduit par une forte tension sur le marché de l'immobilier qui produit des effets de relégation et de ségrégation sociospatiale, entre littoral et intérieur, entre population aisée, plutôt âgée, et jeunes actifs aux revenus plus limités⁷². Ainsi, un essoufflement de l'urbanisation et surtout de la démographie des communes littorales s'observe, au profit des communes arrière-littorales (Poupard, 2017).

Un second déséquilibre s'observe entre Haute et Basse Bretagne, l'est de la région étant mieux arrimé aux dynamiques démographiques et économiques de l'Île-de-France et, partant, européennes, que l'ouest qui pâtit quelque peu de sa situation périphérique. La crainte du décrochage sous-tend d'ailleurs les projets de certains territoires et de leurs objectifs stratégiques⁷³. Néanmoins, l'année 2020 s'est distinguée, entre autre, par un rebond spectaculaire des transactions foncières et immobilières, qui ont renforcé les dynamiques déjà observées sur le littoral de Bretagne Sud, et ont également redynamisé le marché assez atone des littoraux les plus périphériques⁷⁴. Cette évolution est illustrée de manière extraordinaire par la publicité faite à Brest par le magazine américain *Forbes* (fig. 6.1).

⁷⁰ Le parc de logements augmente plus vite que la population régionale, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/3623508>

⁷¹ Voir aussi le site de Tourisme Bretagne, <https://www.tourismebretagne.com/>

⁷² Voir notamment la presse régionale : <https://www.ouest-france.fr/bretagne/morbihan/immobilier-hors-de-prix-quel-impact-sur-la-vie-quotidienne-des-morbihannais-76f3884c-befb-11eb-a219-8f747c6d3d1b>

⁷³ Par exemple, le SCoT du Pays de Brest stipule que si son positionnement « entre terre et mer est un atout, il se traduit aussi par un éloignement des grands bassins de consommation français et européens et des centres de décision », et que « la croissance démographique du Pays de Brest est insuffisante pour préserver les équilibres est-ouest de la Bretagne », <https://www.pays-de-brest.fr/le-scot/documents-de-referance/382-projet-d-amenagement-et-de-developpement-durables-padd-executoire>.

⁷⁴ Voir par exemple Le Télégramme du 16 avril 2021, <https://www.letelegramme.fr/bretagne/apres-une-annee-covid-le-marche-immobilier-bouge-partout-en-bretagne-16-04-2021-12736549.php>

Forbes

EDITORS' PICK | Nov 8, 2020, 06:31pm EST | 133 987 views

The 20 Best Places For Americans To Live, Invest, Work In Europe



Cecilia Rodriguez Senior Contributor

Arts



Brittany, France PHOTO: EBD

Brest – Terres Océanes, Brittany, France

Considered one of the best regions of **France** to live but also to invest, Brittany is also considered a great region to settle as an expat.

Many qualified people from around **France** and from around the world have settled in Brittany in recent years. Proximity to the sea, affordable rents, quality of life, safety, nature, gastronomy, culture, exceptional events throughout the year such as the Brest maritime festivals, international exhibitions and concerts are among Brittany's attractions.

Figure 6.1 : Brest parmi les 20 destinations recommandées aux Américains pour investir dans l'immobilier en Europe selon le magazine américain Forbes (8-11-2020)⁷⁵

L'effet de la crise sanitaire liée au Covid-19 et la politique de confinement mise en œuvre pour la gérer semblent avoir suscité un engouement nouveau et important pour les villes moyennes, les espaces périurbains et ruraux, notamment ceux porteurs de fortes aménités environnementales. L'aire urbaine de Brest, centrée sur une ville moyenne au statut métropolitain, avec les équipements structurants afférents (centre hospitalier, université, centre de congrès, gare TGV et aéroport, etc.) et dotée d'un cadre de vie de qualité (littoral,

⁷⁵ The 20 Best Places For Americans To Live, Invest, Work In Europe, <https://www.forbes.com/sites/ceciliarodriguez/2020/11/08/the-20-best-places-for-americans-to-live-in-europe/?sh=dd8ce00184e2>

espaces naturels protégés, etc.), a connu un afflux touristique massif, et son marché immobilier est sous tension⁷⁶. Il est bien entendu encore trop tôt pour déterminer s'il s'agit d'un phénomène conjoncturel, ou si des effets structurels à long terme sont à attendre, en lien notamment avec le recours massif au télétravail et une modification par les ménages de leurs arbitrages en matière de choix résidentiels⁷⁷. Cette situation contribue en tout cas à alimenter les questionnements sur l'évolution de l'occupation et de l'usage du littoral en complément des enjeux démographiques, sociaux, fonciers et environnementaux qui se posent déjà aux collectivités territoriales et aux autres acteurs du territoire breton (Conseil Régional de Bretagne, 2013 ; Moulinier et Poupard, 2017).

Les tendances observées dessinent ainsi de nombreuses perspectives de recherche. Entre urbanisation, maintien des fonctions agricoles et maritimes, et protection de l'environnement, le foncier du littoral breton est en tension. Ces tendances risquent-elles de conduire à une saturation foncière susceptible, à l'instar du littoral méditerranéen, de faire évoluer encore les équilibres démographiques, économiques et sociaux, et de contrarier les projets de territoire actuels ? L'effet de report vers l'arrière-pays, déjà tangible sur de nombreux secteurs littoraux bretons, peut-il constituer une chance de rééquilibrage du territoire breton, ou au contraire un facteur d'accentuation des phénomènes de relégation et de ségrégation sociospatiale qui s'observent déjà localement ? Les effets environnementaux qui découlent des changements d'occupation et d'usage du sol sont nombreux, à la fois pour les écosystèmes naturels et leurs ressources (espace, eau, biodiversité, etc.), donc en retour sur la qualité de vie des populations littorales et leurs activités. Comment articuler les fonctions productives (agriculture, aquaculture, pêche, mais aussi commerce maritime, industries et énergies marines) face à la demande d'espaces résidentiels et récréatifs ? Quels seront les effets à moyen et long terme de ces évolutions sur l'environnement ? Quels impacts régionaux et locaux exerceront les changements climatiques et l'élévation du niveau marin sur des territoires déjà sous contrainte, et probablement exposés de manière accrue aux risques côtiers ? Les trajectoires futures du littoral breton restent extrêmement ouvertes.

Le champ de recherche ouvert par ces questions est tout aussi vaste, à la fois thématiquement et méthodologiquement. Des choix sont donc nécessaires. Mes perspectives s'intéresseront par conséquent à trois problématiques, visant à aborder plusieurs enjeux liés aux changements d'occupation et d'usage du littoral : l'analyse spatiotemporelle de l'urbanisation résidentielle et la capacité de l'urbanisation à la contrôler ; l'évolution de la vulnérabilité systémique aux risques côtiers, et l'influence de l'anthropisation des bassins versants côtiers sur la qualité de l'eau. Situés dans la continuité de travaux présentés dans ce mémoire, ou en cours, ces cas d'étude permettent chacun d'interroger un aspect particulier de la notion de trajectoire, qui va être définie dans la partie suivante.

⁷⁶ Voir hebdomadaire Côté Brest, https://actu.fr/economie/immobilier-forte-hausse-de-la-demande-et-des-prix-dans-le-finistere_41114999.html

⁷⁷ Insee, La population active bretonne à l'horizon 2040, <https://www.insee.fr/fr/statistiques/5348033>

6.2. Méthodologie

6.2.1. La notion de trajectoire : cadre conceptuel

Dans de nombreuses disciplines, la dimension temporelle des processus de transformation est couramment rattachée à la notion de trajectoire (Maurel, 2009). Cette notion permet en effet d'associer à l'analyse spatiale une description des variations temporelles pouvant inclure des cycles, des ruptures, des bifurcations (Lompech, 2018).

En géographie, la notion de trajectoire de vie (*lifeline*) est introduite dès les années 1970 (Hägerstrand, 1970). Assortie d'une représentation graphique tridimensionnelle, elle permet de restituer des trajectoires individuelles dans l'espace et dans le temps, pour décrire et comprendre les comportements individuels et la manière dont ils s'organisent et se coordonnent au sein de la société et de ses territoires⁷⁸. L'application de cette notion repose sur la description de plusieurs états du sujet étudié, dont on relie ensuite les coordonnées afin d'en restituer la trajectoire. Parmi les applications les plus courantes figure l'analyse des trajectoires résidentielles, qui vise à rechercher les motivations des ménages et les facteurs déterminant leurs choix de logement au fil de leur existence (Atkins, 2018 ; Bessy, 1998 ; Griffond-Boitier *et al.*, 2012).

Plus récemment, cette notion a été utilisée en recherche urbaine. Des trajectoires de villes ont ainsi pu être retracées à partir de leur évolution démographique (Paulus et Pumain, 2000 ; Turok et Mykhnenko, 2007), ou économique (Paulus, 2007). L'analyse de plusieurs trajectoires permet d'identifier des catégories spécifiques et la transformation du système urbain qui en découle. L'intérêt réside alors dans le fait de considérer non plus seulement « *les fluctuations autour d'une même tendance à l'accroissement* », mais des trajectoires « *restituant les dynamiques ascendantes ou descendantes dans le système des villes* » (Paulus et Pumain, 2000). Ces trajectoires matérialisent notamment les effets de la concurrence que se livrent les villes, qu'ils soient positifs grâce à l'effet d'entraînement engendré par l'émulation qu'elle produit, ou bien négatifs par les situations de décrochage et de déclassement qu'elle peut provoquer.

Dans le domaine des *Land change sciences*, la notion de trajectoire est souvent employée pour relier des états successifs d'occupation ou d'usage du sol, à différentes échelles et avec des profondeurs historiques variables : l'exploitation d'images satellitaires permet de proposer des trajectoires d'occupation du sol à l'échelle régionale ou globale avec une profondeur historique de plusieurs décennies (Ellis *et al.*, 2010). Pour affiner l'analyse, ou remonter à des périodes plus anciennes, le recours à des données complémentaires s'impose : photographies aériennes, cadastres, cartes anciennes (Godet et Thomas, 2013). L'information géographique aujourd'hui disponible, ainsi que l'imagerie satellitaire à très haute résolution spatiale et temporelle, facilitent l'observation et l'analyse des processus spatiaux par des approches multiscalaires éventuellement arrimées au plancher géographique de la parcelle foncière, et avec des granularités temporelles saisonnières ou mensuelles, portant par exemple sur l'évolution des pratiques agricoles (Denize *et al.*, 2018 ; Houet *et al.*, 2008), ou les processus

⁷⁸ Voir Hypergéométrie, <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article540>

fonciers en lien avec les dynamiques d'urbanisation (Casanova et Helle, 2012 ; Irwin et Bockstael, 2007). Au-delà d'une analyse diachronique, la trajectoire d'occupation du sol s'attache ainsi à en comprendre la structure systémique, les dynamiques et leurs déterminants, en mettant notamment en œuvre des démarches de modélisation spatiotemporelle.

L'exposition des territoires à divers types de risques donne également lieu à des développements autour de la notion de trajectoire de vulnérabilité (Bankoff, 2003 ; Magnan *et al.*, 2012). L'analyse spatiotemporelle de variables individuelles (âge, revenu, logement, etc.), environnementales (exposition, accessibilité, etc.), ou organisationnelles (gouvernance territoriale, cadre réglementaire, etc.) (Adger, 2006), permet de restituer des états successifs, pouvant être reliés entre eux, pour mettre en évidence des tendances, des cycles, ou bien des ruptures, tout en restituant les dépendances liées à des situations héritées (Gallopín, 2006 ; Maurel, 2009). Dans la même optique, la notion de trajectoire est également employée pour restituer l'évolution des systèmes territoriaux (Voiron-Canicio, 2012), sociaux (Li et Ford, 2019) et socioécosystémiques (Dufour et Lespez, 2020). L'analyse combinée des états successifs et des dynamiques multiscalaires de tels systèmes permet d'identifier les processus (physico-chimiques, biologiques et sociaux) qui les génèrent et déterminent leurs évolutions (Dufour et Lespez, 2020). La compréhension des interactions qui s'exercent entre ces processus permet à la fois d'évaluer l'influence du passé sur le présent, d'en révéler les éventuelles ruptures, tout en questionnant leurs évolutions futures.

Une perspective de recherche intéressante consiste alors à comparer plusieurs trajectoires entre elles pour tenter d'en matérialiser, soit les convergences – lorsque plusieurs objets géographiques partagent les mêmes portions de trajectoire – soit les divergences qui peuvent aboutir à certaines différenciations spatiales, environnementales ou socio-économiques (Delor et Hubert, 2000 ; Park et Xu, 2020). Ces effets conjoints s'inscrivent dans des emboîtements d'échelles qui provoquent « *des phénomènes collectifs non directement prévisibles à partir de la connaissance des états* » individuels, découlant de la théorie de l'auto-organisation (Pumain, 2003). Se pose alors la question de l'articulation entre différents types de trajectoires (sociales, environnementales, etc.), de leurs interactions et de leurs rétroactions (Maurel, 2009). En effet, bien que les changements aient chacun leur propre temporalité, ils peuvent s'influencer les uns les autres, en fonction de leur niveau d'interdépendance. La dynamique de ces systèmes combine des trajectoires de stabilité variable, pouvant faire évoluer le système de manière imprévisible vers différentes formes d'organisation. « *Elle inclut des hypothèses d'irréversibilité du temps, d'imprévisibilité du futur et d'unicité des trajectoires « historiques » de chaque système, faites d'une succession originale de bifurcations* » (Pumain, 2003). Dès lors, s'il est séduisant de restituer les trajectoires sectorielles ou thématiques rattachées à certains territoires, l'analyse conjointe de ces trajectoires et de leurs interrelations reste un véritable défi scientifique.

6.2.2. Géohistoire et Géoprospective

La notion de trajectoire s'inscrit à la fois dans l'histoire, le présent et le futur, aussi son champ d'analyse ressort-il de deux approches distinctes, mais complémentaires de la géographie : la géohistoire et la géoprospective.

La géohistoire repose sur une approche essentiellement rétrospective, qui s'intéresse aux interactions entre les dimensions géographique et historique (Grataloup, 2015). En miroir à la contextualisation géographique de la démarche historique, elle apporte une perspective historique à la connaissance des systèmes géographiques, en tant que systèmes de relation entre les sociétés humaines et leur environnement. Par une analyse dialectique à la fois multitemporelle, multiscalaire et multithématique, elle vise en effet à identifier et à confronter des événements et des processus, pour rechercher des permanences, des mutations, voire des ruptures dans leur évolution (Giacona *et al.*, 2019), tout en essayant d'en retrouver les origines. De ces origines à la situation contemporaine, « *la géohistoire a fait passer d'une conception stationnaire à une conception dynamique du milieu anthropisé, qui débouche sur la mise en évidence de trajectoires particulières* » (Dufour et Lespez, 2020). Par l'étude du passé comme clef de compréhension du présent, la géohistoire apporte un éclairage très pertinent à l'observation des évolutions contemporaines, et une base de réflexion sur celles à venir. L'approche géohistorique s'appuie sur des développements méthodologiques spécifiques pour la restitution des trajectoires. En effet, les cartes fournissent une représentation généralement statique d'un territoire à un instant ou une date donnée (Wilson, 2001). Et l'information géographique et les SIG intègrent surtout deux composantes – *attribut* et *localisation* – (Cunty *et al.*, 2015), donc ne prennent pas en compte, ou de manière très limitée (Gregory, 2002), la dimension temporelle. Divers méthodes et outils sont alors mobilisés pour inclure la temporalité dans la représentation cartographique et la faire évoluer vers plus d'interactivité et de dynamisme : frises chronosystémiques, cartographies narratives, animations, vidéos, phases temporelles cycliques ou linéaires, à des pas de temps variés. Dans ce cadre, la géomatique apporte une contribution essentielle pour la diffusion des données et la mutualisation de référentiels, qui favorisent les expertises croisées pour faire émerger de nouveaux questionnements scientifiques (Knowles, 2005 ; Spiegelberger *et al.*, 2018). Mais les données historiques, voire archéologiques selon la profondeur temporelle recherchée, posent des contraintes spécifiques de structuration et d'analyse en fonction de leurs sources, de leurs caractéristiques et de leur qualité (échelle, granularité spatiale et temporelle, incertitude).

L'approche rétrospective, aussi intéressante soit-elle pour alimenter la restitution des trajectoires d'occupation et d'usage du sol et parvenir à déterminer des tendances, est difficile à valoriser d'un point de vue opérationnel. De fait, les acteurs des territoires attendent souvent des analyses actualisées, voire des outils d'aide à la planification, voire d'anticipation, ce qui fait écho à l'assertion de Gaston Berger : « *Passer de la rétrospection à la prospection n'est pas simplement diriger ailleurs l'attention : c'est se préparer à l'action* » (Berger, 1964). Dans cette optique, la géoprospective fournit un cadre conceptuel et méthodologique approprié pour les recherches que j'envisage de conduire dans les prochaines années. Développée dans la communauté des géographes français au début des années 2000 (Garbolino et Voiron-Canicio, 2021), la géoprospective s'attache à modéliser les qualités et les propriétés des systèmes spatiaux, ainsi que leurs devenir possibles (Emsellem *et al.*, 2012). Au-delà d'un simple diagnostic territorial, il s'agit de rechercher les principaux déterminants du changement spatial, d'en comprendre les interactions, puis de les modéliser afin d'en restituer les dynamiques spatiotemporelles (Aguejdad *et al.*, 2016). Outre l'intégration aux SIG de la dimension temporelle (Gourmelon *et al.*, 2008), la géoprospective comporte une dimension

opérationnelle, dans la mesure où elle vise à préparer la prise de décision et l'action territoriale en intégrant à la fois l'évolution des systèmes territoriaux (incluant leurs composantes environnementales et anthropiques) et les conséquences potentielles de cette prise de décision (Garbolino et Voiron-Canicio, 2021). Un premier apport intéressant de la géoprospective dans le cadre de mes recherches vient du fait que l'espace y est considéré non pas comme un simple support – ou objet – des dynamiques qui s'y jouent, mais comme un « *agent du devenir des territoires* » à part entière, dans le sens où il participe pleinement à la production du changement spatial (Emsellem *et al.*, 2012). « *Le changement fait alors partie de la mise en forme du système* » (Pumain, 1998). Cela signifie que le système évolue en fonction de processus dynamiques internes et externes, en partie auto-organisés, dans le sens où la seule connaissance rétrospective ne peut permettre de prévoir l'avenir, car il comporte des évolutions (bifurcations) imprévisibles (Voiron-Canicio, 2012). Un second apport de la géoprospective réside ainsi dans sa démarche réflexive et collective. Elle repose en effet généralement sur la co-construction de scénarios et de cadres de modélisation associant scientifiques, gestionnaires, et parfois la population, ainsi que sur une « validation » des résultats obtenus (Houet et Gourmelon, 2014). Ces scénarios peuvent être intuitifs (plausibles et narratifs), probabilistes (reposant sur des tendances observées) ou bien prospectifs (basés sur des modèles mathématiques). L'avenir ne pouvant par essence pas être prédit, la notion de validation est davantage liée à la réflexion collective nécessaire pour définir les futurs plausibles – ou souhaitables – plutôt que dans la recherche d'une simulation de ce qui devrait réellement se produire. Dans ces conditions, la géoprospective a donc pour objectif d'alimenter les débats sur le territoire et d'accompagner les réflexions sur son évolution (Aguejda *et al.*, 2016). Elle ambitionne néanmoins de considérer le système spatial dans toute sa complexité structurelle et dynamique, afin de comprendre les interactions multiscalaires entre dynamiques environnementales et anthropiques et leurs conséquences (Garbolino et Voiron-Canicio, 2021). Dans cette optique, elle mobilise et développe des méthodes de modélisation associant scénarios, enchaînements de traitements et couplage d'outils formels (Emsellem *et al.*, 2012). Parmi les méthodes de modélisation spatiale de la complexité mises en œuvre dans la géoprospective, Houet *et al.* (2008) distinguent les suivantes : la *représentation spatiale diachronique* qui s'attache à restituer des états successifs d'occupation et d'usage du sol par différents moyens (chorèmes, blocs-diagrammes, vues paysagères virtuelles, télédétection) ; l'*approche systémique*, qui cherche à comprendre les mécanismes de la dynamique des activités humaines dans un territoire et qui constitue la base conceptuelle des modèles de simulation dynamique ; la *modélisation dynamique* qui vise à restituer les dynamiques spatiales et temporelles à l'aide d'outils comme les automates cellulaires, les systèmes multi-agents et les réseaux neuronaux, qui considèrent l'espace comme une collection de particules en interaction (Garbolino et Voiron-Canicio, 2021). Les scénarios établis collectivement sont souvent couplés avec la modélisation dynamique pour les spatialiser, en simuler les options et en explorer les effets. Ces couplages peuvent notamment s'effectuer sous forme de jeux de rôle, dans le cadre de processus qualifiés de modélisation d'accompagnement combinant participation et modèles (Houet et Gourmelon, 2014).

6.3. Cas d'étude

Dans le cadre conceptuel et méthodologique de la géohistoire et de la géoprospective, mes perspectives de recherche s'appliquent à trois thématiques, dont chacune permet d'interroger un aspect particulier de la notion de trajectoire.

Un premier axe de recherche s'intéresse à l'analyse spatiotemporelle de l'urbanisation résidentielle et de la capacité de la réglementation à la contrôler. Il comporte une approche rétrospective basée sur la modélisation statistique pour tenter de restituer et comprendre l'articulation complexe des facteurs déterminant l'urbanisation en fonction de leur évolution spatiotemporelle. Les probabilités de construction (facteur de risque) des parcelles foncières (Le Berre *et al.*, 2017 ; Thériault *et al.*, 2020) pourront être remobilisées dans une approche prospective visant à simuler les effets de l'évolution de la réglementation et des projets de territoire sur l'urbanisation littorale.

Le second axe s'adosse au concept de vulnérabilité systémique (§5.2.4). D'un point de vue rétrospectif, il vise à restituer l'évolution des composantes de la vulnérabilité systémique, afin de suivre et d'analyser les trajectoires de vulnérabilité des territoires littoraux aux risques côtiers. Du point de vue rétrospectif, il s'agira donc de rechercher et de collecter les données historiques pertinentes permettant d'intégrer la dimension temporelle dans le SIG développé jusqu'à présent (Hénaff *et al.*, 2020 ; Meur-Ferec *et al.*, 2020), et de développer des protocoles adaptés pour analyser la contribution de ces variables temporelles à la trajectoire de vulnérabilité des territoires étudiés. La forme à donner à ces trajectoires, de même que leurs modalités d'exploration, constituent un volet important de cette recherche. D'un point de vue prospectif, il s'agira de développer, avec les partenaires de l'observatoire OSIRISC, des scénarios qualitatifs visant à décrire des futurs plausibles ou désirés pour leurs territoires, et d'en analyser les effets sur leur vulnérabilité.

Enfin, le troisième axe vise à relier l'occupation du sol des bassins versants côtiers bretons avec la qualité de leurs eaux estuariennes. Cet axe de recherche se fondera sur la production de métriques géographiques pour alimenter une modélisation statistique multivariée visant à en analyser les corrélations avec les mesures physico-chimiques et biologiques réalisées dans plusieurs estuaires. Elle visera, dans un second temps, à restituer les trajectoires d'anthropisation des estuaires en remobilisant les principes de modélisation statistique spatiotemporelle mis en oeuvre sur l'urbanisation résidentielle (Thériault *et al.*, 2020). À plus long terme, cette recherche ambitionne de mettre en oeuvre des méthodes de modélisation spatiotemporelle afin d'envisager les évolutions probables de l'occupation du sol et de la qualité de l'eau, en lien avec des scénarios tendanciels et contrastés à coconstruire avec les gestionnaires de l'eau en Bretagne (syndicats mixtes, collectivités).

6.3.1. Trajectoires d'urbanisation résidentielle, réglementation et projets de territoire

Contexte

En France, grâce aux mesures de décentralisation, les élus locaux ont désormais largement le pouvoir sur le processus d'aménagement de leur territoire et sur son urbanisation, que ce soit à travers l'attribution des permis de construire, ou bien des « projets de territoire » qu'ils

promeuvent par l'élaboration des documents de planification urbaine ou stratégique (PLUi, SCoT). En contrepartie, le législateur tend à accroître et renforcer la réglementation de l'urbanisation, dans le but d'en minimiser les coûts environnementaux et sociaux, par exemple par la modération de la consommation d'espaces agricoles et naturels par l'urbanisation (principe d'une « utilisation économe » de la loi Solidarité et renouvellement urbain (2000), réaffirmé dans les lois Grenelle (2009 et 2010) et ALUR (2014). Ce renforcement législatif intervient dans un contexte d'accentuation et de prise de conscience collective de ces enjeux. Il vise à renforcer la cohérence de l'urbanisation pour répondre aux objectifs de modération de consommation de territoires, destinés à préserver d'une part les espaces agricoles pourvoyeurs de ressources alimentaires, et d'autre part des espaces ouverts au public et sources d'aménités paysagères et récréatives. La réglementation a d'ailleurs tout particulièrement concerné la protection des espaces naturels, notamment littoraux, afin d'en préserver l'ouverture au public et les qualités paysagères et écologiques⁷⁹. Pour ce faire, elle s'appuie notamment sur la notion de services écosystémiques, en tant que fournisseurs de ressources (halieutiques et énergétiques par exemple), de régulations (zones tampons au regard de l'élévation du niveau marin et de l'accroissement prévisible des risques côtiers), ou de valeurs (esthétiques, paysagères et récréatives).

Mais l'efficacité de cette réglementation est souvent discutée, car la motivation économique apparaît encore comme la plus déterminante dans les projets de territoire (Thériault *et al.*, 2020) et que la valeur foncière reste prédominante dans la structuration de l'urbanisation (Geniaux *et al.*, 2015).

Objet

Dans ce contexte, cette proposition de recherche s'appuie sur la notion de trajectoire selon une double déclinaison. D'une part, la trajectoire d'urbanisation, couramment mobilisée dans le domaine de recherche concernant les changements d'occupation du sol (Aguejda et Hubert-Moy, 2016 ; Hammer *et al.*, 2004), peut être utilisée pour construire des typologies de changement (Swetnam, 2007). D'autre part, Prévost et Robert (2016) ont décrit des trajectoires de planification aboutissant à des formes d'urbanisation nettement différenciées dans un contexte géographique et réglementaire pourtant relativement similaire.

S'il s'agit de reconstituer les trajectoires d'urbanisation résidentielle et de réglementation/planification urbaine, l'enjeu principal réside dans l'analyse de leurs interactions. À cet égard, les travaux déjà entrepris à partir de la base de données développée sur le Pays de Brest et de sa modélisation par des méthodes d'analyse statistique de survie constituent une base solide (Le Berre *et al.*, 2017 ; Thériault *et al.*, 2020).

Objectif

L'objectif poursuivi est de reconstituer les processus de développement de l'urbanisation littorale, intégrant l'évolution de leur encadrement législatif, réglementaire et politique, tout

⁷⁹ cf. fig. 1.5 sur la superposition des zonages environnementaux et portail Carmen, https://carmen.developpement-durable.gouv.fr/10/Nature_Paysage.map

en parvenant à décrypter les choix politiques à leur origine. Reposant sur des méthodes d'analyse de survie, nos travaux (Le Berre *et al.*, 2017 ; Thériault *et al.*, 2020) ont permis de mettre en évidence la contribution des facteurs déterminant l'urbanisation résidentielle les plus couramment évoqués dans la littérature, tout en contrôlant leur articulation spatiotemporelle. Ils ont démontré leur pertinence pour analyser conjointement des évolutions plus ou moins corrélées de l'occupation du sol et de la réglementation, apportant des éléments de réponse pertinents aux questions liées à l'articulation de différentes trajectoires (Maurel, 2009). Mais ils laissent ouverte la question de l'influence des choix politiques, en tant que « condition initiale » (Pumain, 2003), à partir de laquelle la trajectoire d'urbanisation d'une commune est susceptible de diverger de celle de ses voisines (Prévost et Robert, 2016).

Travailler sur ces trajectoires politiques et réglementaires permettrait d'établir une typologie des communes littorales du Pays de Brest, tout en apportant un nouvel éclairage sur les convergences et divergences de leurs formes d'urbanisation. Cette proposition de recherche repose sur plusieurs hypothèses, formulées à l'appui de nos précédents travaux :

- Malgré un cadre réglementaire national théoriquement homogène, l'urbanisation du littoral est très différenciée d'un territoire à l'autre (Deboudt, 2015 ; Zaninetti, 2006) ;
- La mise en œuvre des dispositifs réglementaires dépend en effet des choix politiques locaux (Prévost et Robert, 2016) ;
- Ces choix se répercutent sur les formes d'urbanisation et sur la consommation de terre (Prévost et Robert, 2016 ; Thériault *et al.*, 2020) ;
- Les décideurs ont besoin d'outils permettant de projeter et comparer les effets territoriaux probables de leurs choix politiques à courte et moyenne échéance (Voiron-Canicio, 2012).

Méthode

L'analyse s'appuiera sur l'exploitation de la base de données *MEtalUrbain* décrite dans la seconde partie (cf. §4). Elle devra faire l'objet de compléments et de mises à jour. Le complément de la base de données reposera en premier lieu sur la reconstitution de l'évolution des zonages de planification urbaine qui sont actuellement indisponibles sous une forme exploitable. Il existe bien un état datant du début des années 2000, synthétisé à l'époque par les services de l'Équipement (Tissot, 2003), ainsi qu'une version actuelle de ces zonages. Mais pour pouvoir remonter antérieurement (et reconstituer les zonages des POS), il conviendra d'effectuer un important travail de récolement de données (notamment aux archives départementales), afin de différencier *a minima* les espaces urbanisés, les espaces urbanisables et les terres agricoles. Les autres espaces artificialisés (infrastructures de transport, carrières, etc.) ont été incorporés en tant que filtres dans Le Berre *et al.* (2016). De même, l'évolution géohistorique des zonages environnementaux a été reconstituée dans Le Berre *et al.* (2017). Enfin, l'exploitation des Registres parcellaires graphiques (RPG) permet de restituer les affectations récentes des terres agricoles.

En second lieu, pour analyser les effets des nouveaux dispositifs d'aménagement, il est nécessaire d'actualiser la base de données qui couvre actuellement la période 1968-2009. Or la réglementation de l'urbanisation a significativement évolué depuis 2008, notamment pour

intégrer davantage les considérations environnementales (fig. 6.2). Elle impose notamment une meilleure prise en compte de l'environnement dans les documents d'urbanisme : objectifs chiffrés de modération de la consommation de territoire (notamment agricole), application plus rigoureuse des principes de la loi Littoral (urbanisation en profondeur, densification des espaces urbanisés *vs* restriction de l'étalement urbain dans les espaces bâtis non urbains, etc.). Pour déterminer si ces mesures ont eu une influence effective sur l'urbanisation, il convient d'actualiser la base de données, à partir de la version la plus récente du référentiel cadastral⁸⁰.

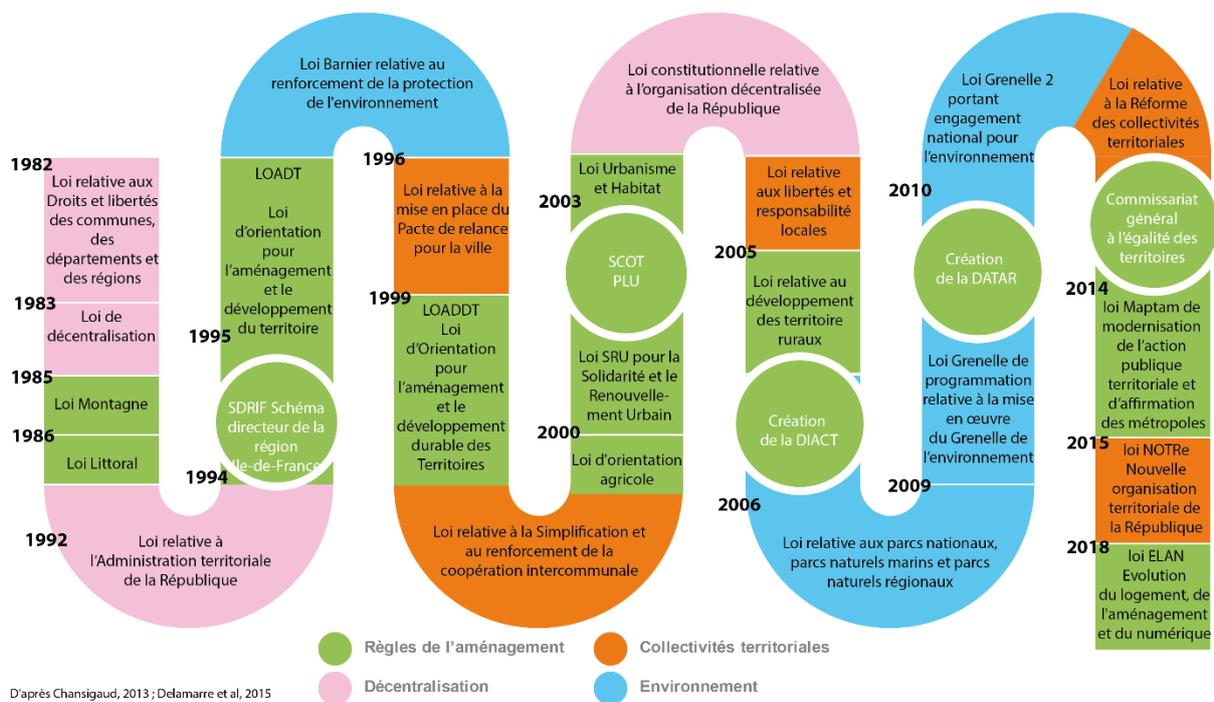


Figure 6.2 : Le jeu de lois de l'aménagement du territoire

Enfin, une question particulière concerne l'évolution des centralités. Jusqu'à présent, nos modélisations ont considéré ces centralités comme urbaines (centre de premier, de second ou de troisième ordre, conformément à la hiérarchie urbaine établie par le SCoT du Pays de Brest), ou bien reliées à certains services spécifiques (écoles). Mais force est de constater que ces centralités ont fortement évolué au cours des dernières décennies, en lien avec les dynamiques de périurbanisation en cours dans le Pays de Brest, comme dans la plupart des aires urbaines. La localisation des commerces est de plus en plus périphérique, car elle repose désormais tout autant sur l'accessibilité que sur la centralité. Il conviendra donc de restituer cette évolution dans la base de données par l'exploitation des référentiels historique de l'IGN et de la base de données SIRENE de l'Insee.

Outre l'approche rétrospective, les méthodes d'analyse statistique mises en œuvre permettent d'évaluer les probabilités de mise en construction, en fonction de la survenue des événements intégrés à la modélisation (mise en place d'une réglementation par exemple) à l'échelle de la

⁸⁰ Fichiers fonciers de la DGFIP, dont le dernier millésime disponible est 2020, <https://datafoncier.cerema.fr/donnees/fichiers-fonciers>

parcelle foncière. Ces probabilités pourraient donc être remobilisées dans le cadre d'une approche prospective à court terme, visant à tester différents scénarios d'évolution de l'urbanisation, en fonction des options adoptées dans les projets de territoire. En effet, les différents échanges entrepris avec les gestionnaires et les aménageurs du Pays de Brest (BMO, Adeupa) dans le cadre de *MEtalUrbain*, nous ont montré qu'ils étaient davantage intéressés par les analyses prospectives, qui leur ouvrent une fenêtre de visibilité sur les effets de leurs projets, plutôt que par une analyse rétrospective qui leur présente des tendances qu'ils connaissent déjà (à travers les diagnostics de territoire établis dans le cadre de l'élaboration des projets de planification urbaine et d'aménagement), ou bien qui éclairent des évolutions passées, dont ils considèrent qu'elles n'apportent pas d'éléments nouveaux pour leurs projets.

Si les approches rétrospectives permettent de reconstituer des trajectoires, et éventuellement de matérialiser des tendances, certaines évolutions peuvent s'avérer relativement imprévisibles du fait des effets incertains de la conjonction de facteurs divers dans un système complexe. Des outils utilisables pourraient être les automates cellulaires, ou les systèmes multi-agents (Aguéjdad *et al.*, 2016 ; Batty, 2005 ; Rousseaux *et al.*, 2011). Ils permettraient de développer des scénarios tendanciels d'évolution de l'urbanisation résidentielle des communes littorales, en fonction des projets de territoire, en intégrant les probabilités de constructions évaluées à partir des facteurs déjà intégrés dans nos modélisations. Ils permettraient également de comparer ces résultats, avec ceux obtenus à partir de scénarios plus exploratoires et contrastés tenant compte d'une mise en œuvre beaucoup plus stricte des dispositifs réglementaires existants dans le domaine de l'urbanisme, de la protection de l'environnement et de l'espace agricole, mais également de la gestion des risques côtiers, ou bien en introduisant des ruptures liées à l'évolution démographique, économique ou environnementale du littoral brestois. Dans ces conditions, cet axe de recherche pourrait devenir porteur de potentialités intéressantes en termes d'opérationnalisation et d'échanges avec les acteurs de la planification urbaine et de gestion de la zone côtière.

Résultats attendus

Les résultats attendus sur ce cas d'étude sont de plusieurs ordres. D'un point de vue thématique en premier lieu, ces travaux permettront de déployer des probabilités de construction résidentielle à l'échelle de la parcelle foncière sur l'ensemble du Pays de Brest. Elles serviront notamment à identifier les espaces les plus susceptibles de subir une pression foncière, ceux concernés par des tensions entre différents types d'usages (résidentiel et agriculture par exemple, urbanisation et protection de l'environnement), ainsi que l'émergence du risque générée par l'urbanisation des zones littorales exposées aux risques côtiers, actuellement ou dans le futur. En termes de développements méthodologiques, la contribution majeure de ce cas d'étude résidera sans doute dans l'extension et l'actualisation d'une base de données spatiotemporelle sur l'évolution de l'occupation du littoral, car il est très probable que la modélisation s'appuiera en grande partie sur les compétences théoriques et méthodologiques déjà développées au sein de l'UMR LETG (Houet et Gourmelon, 2014 ; Tissot, 2018). D'un point de vue théorique enfin, on peut espérer affiner la connaissance des processus de diffusion de l'urbanisation résidentielle sur le littoral breton et les confronter avec les motifs et les enjeux mis en évidence sur le littoral méditerranéen (Casanova Enault *et al.*,

2021 ; Prévost et Robert, 2016 ; Voiron-Canicio *et al.*, 2016). Cette comparaison ouvrirait probablement aussi d'intéressantes perspectives opérationnelles dans la mesure où les dynamiques beaucoup plus précoces du littoral méditerranéen offrent sans aucun doute une matière très pertinente pour alimenter la réflexion stratégique sur l'évolution de l'occupation du littoral de Bretagne.

6.3.2. Trajectoires de vulnérabilité aux risques côtiers

Les travaux menés dans le cadre de l'observatoire OSIRISC (§5) montrent que l'information géographique disponible permet d'alimenter une représentation de la vulnérabilité systémique multicomposante et interdisciplinaire reposant sur de nombreux indicateurs, pouvant être diversement combinés afin de produire des indices. Ils montrent aussi combien l'évaluation de la vulnérabilité reste toute relative, en fonction du contexte spatial et temporel dans lequel elle est évaluée, ce qui justifie la seconde perspective de recherche ici présentée.

Contexte

Spatialement, il s'agit de réaliser une comparaison aussi objective que possible entre différents territoires (Balica *et al.*, 2012). C'est notamment la motivation de plusieurs instances internationales à développer des indices globaux (IDH, WRI, CO@ST, etc., cf. §5.2). Néanmoins, le caractère abstrait de ces indices globaux leur est parfois reproché, dans la mesure où ils sont établis avec une granularité large (généralement nationale), donc en partie indépendante de celle des sites ou populations exposés aux risques considérés, et surtout masquant de profondes inégalités spatiales et sociales au regard de la vulnérabilité. Or, les territoires présentent d'importantes inégalités liées au revenu de leurs habitants, à la nature des logements (caravaning, bâti précaire, maison en dur), et à leur usage (résidence principale ou secondaire ; résidentiel ou professionnel ; privé ou public). Les cotations globales reposent par ailleurs sur l'exploitation de données agrégées, de qualité hétérogène, notamment en fonction des conditions de développement et des niveaux de connaissances des territoires concernés (Barnett *et al.*, 2008). Cette hétérogénéité peut, par conséquent, entacher la pertinence de la comparaison des territoires considérés, voire la rendre inopérante (Barnett *et al.*, 2008 ; Preston *et al.*, 2011 ; Turner *et al.*, 2003). Au contraire, certains auteurs insistent sur la dimension éminemment géographique de la vulnérabilité qui dépend de conditions souvent très locales (*place-based vulnerability* – Cutter *et al.*, 2000), justifiant ainsi de promouvoir des approches à échelle fine. Cette échelle est également celle qui intéresse le plus les gestionnaires désireux de disposer d'outils à vocation stratégique, si ce n'est opérationnelle, pour définir et évaluer les politiques qu'ils ont à mettre en œuvre pour gérer les risques côtiers auxquels sont exposées certaines parties de leur territoire. Il importe cependant de ne pas verser dans le particularisme pour pouvoir développer des méthodes reproductibles permettant la comparaison entre territoires. Il faut donc tenir compte de la qualité des données disponibles pour décrire de manière homogène ces territoires et établir des diagnostics pertinents non seulement pour l'observation, mais également à des fins politiques et de gestion des risques côtiers. L'évaluation de la vulnérabilité repose donc bien sur un compromis à rechercher entre la finesse de description de ses composantes, et la production d'une information utile à la compréhension du système dans sa globalité et pertinente pour éclairer la prise de décision.

D'un point de vue temporel, le système de vulnérabilité est éminemment dynamique : chacune de ses composantes, voire des variables les constituant, possède sa trajectoire propre, avec une temporalité, des séquences, et des impulsions différentes qui se font écho ou pas (Bohle, 2002). En particulier, même si certaines confusions persistent (Hénaff *et al.*, 2013), il convient de distinguer les risques qui peuvent se matérialiser brutalement, à l'occasion d'un événement particulier, éventuellement exceptionnel (épisodes d'érosion côtière et de submersion liés à des tempêtes), de ceux qui se construisent progressivement sur le temps long, comme les changements climatiques (D'Ercole et Metzger, 2011) et l'élévation du niveau marin. L'aménagement du territoire – dont découle en partie l'exposition des enjeux aux risques – et la mise en place de modalités de prévention ou d'atténuation des risques, répondent à leurs logiques propres, éventuellement reliées à la survenue d'événements majeurs (Bohle, 2002).

Ainsi, s'il est possible d'établir un diagnostic de la vulnérabilité des territoires littoraux, celui-ci ne correspond qu'à un état du système de vulnérabilité à un instant donné (Gallopín, 2006). La succession d'états du système peut alors être interprétée comme une trajectoire, partant d'un état initial (ou considéré comme tel), vers l'état actuel, puis vers des états futurs (fig.6.3). Ces états sont plus ou moins stables, ils sont également plus ou moins souhaités ou subis.

Cette inscription dans le temps repose sur des approches rétrospectives et prospectives. L'approche historique, permet de mobiliser des données permettant de restituer des états passés (T_1 à T_n) du système étudié et d'en analyser les évolutions. Se pose alors la question de la profondeur historique (état initial T_1) à investiguer, qui dépend à la fois des facteurs considérés et de la période durant laquelle ils exercent leur influence, mais également de la capacité scientifique d'en décrire les évolutions en fonction notamment de la disponibilité des données. En partant de l'état actuel (T_n), la restitution de la trajectoire peut également se baser sur le suivi et l'observation du système étudié dont on restituera en quelque sorte pas-à-pas l'évolution. Enfin, l'approche prospective permet d'envisager des futurs par définition incertains. Deux principales méthodes peuvent s'envisager (Voiron-Canicio *et al.*, 2021). Les approches exploratoires s'élaborent à partir de la situation courante, soit en prolongeant la tendance observée, considérant alors que les processus la déterminant restent stables ; soit en recherchant une approche « contrastée » intégrant l'évolution plausible de certains éléments du système. Les approches normatives reposent quant à elle sur un état futur hypothétique (T_h) du système, qu'il soit recherché à travers la définition d'objectifs stratégiques (l'atténuation de la vulnérabilité par exemple dans le cadre d'un projet de territoire), ou qu'il soit craint et lié à une évolution non désirée du système ou à un événement probable (un aléa majeur), dont la manifestation spatiale et temporelle reste toutefois imprévisible, mais pouvant être scénarisée, de même que ses conséquences.

Dans ces conditions, la vulnérabilité systémique offre des possibilités de comparaisons temporelles et de matérialisation de « trajectoires de vulnérabilité ». La notion de trajectoire permet en effet de comparer plusieurs états, donc de visualiser des évolutions du système et de les traduire en tendances : augmentation ou réduction de la vulnérabilité, changements de nature, pertinence des mesures de gestion adoptées, etc. (Magnan *et al.*, 2012). A l'aide des méthodes d'analyse prospectives, elle permet également de considérer des états ou des événements de probabilité faible, dans le cadre d'approches dites de ruptures, afin d'en

analyser les conséquences possibles, et d'identifier les processus susceptibles de les déterminer. On passe alors d'une analyse d'états successifs, à celle plus fonctionnelle des processus qui déterminent ces états.

Bien entendu, ces trajectoires se déploient également dans l'espace, matérialisant éventuellement une évolution des zones de vulnérabilité, articulant plusieurs échelles spatiales (Baud et Bonnemains, 2018). Une autre question méthodologique importante réside alors dans le choix des métriques permettant de décrire les états du système, donc les dimensions de la trajectoire.

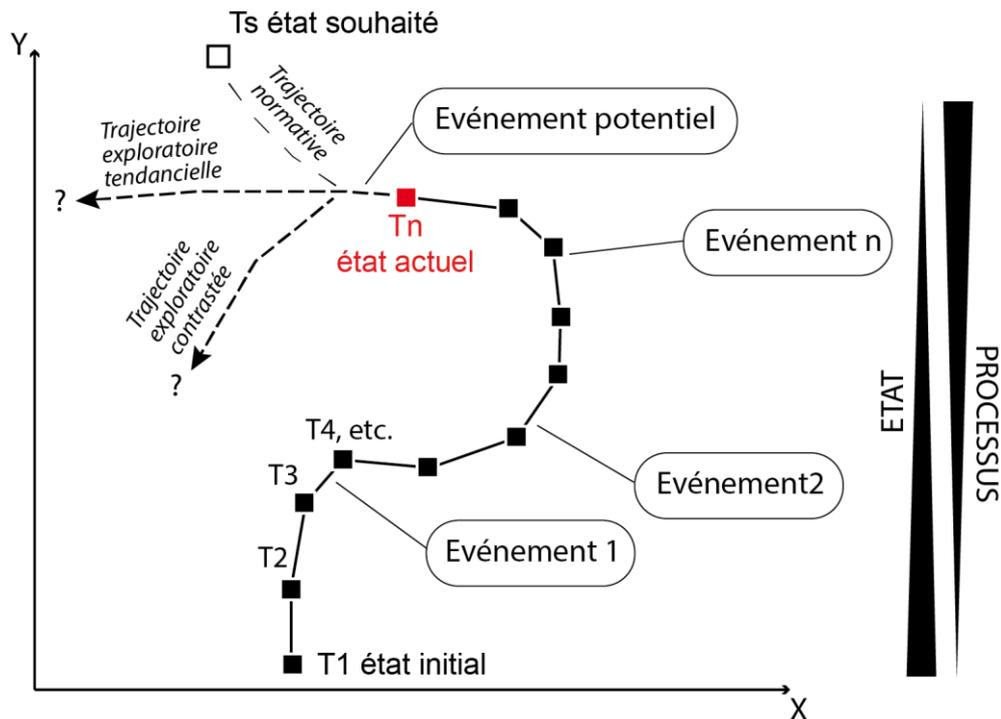


Figure 6.3 : La trajectoire en tant que succession d'états d'un système (ici X pourrait exprimer les risques, et Y la gestion ou l'atténuation).

Objet

Cette perspective de recherche ambitionne donc de reconstituer et d'analyser les trajectoires de vulnérabilité des territoires littoraux bretons aux risques côtiers. Elle requiert une démarche temporelle et systémique.

D'un point de vue temporel, elle vise dans un premier temps à reconstituer l'évolution géohistorique de la vulnérabilité des territoires aux risques côtiers, à travers ses composantes, pour détecter des événements structurants, ainsi que d'éventuels cycles et tendances. Dans un second temps, il s'agit de confronter les trajectoires spécifiques de chaque composante pour tenter d'établir des causalités et d'identifier des facteurs d'influence réciproque. Enfin, d'un point de vue prospectif, il s'agit de déterminer comment mobiliser ces trajectoires pour offrir la possibilité à différentes catégories d'utilisateurs de « naviguer » dans le système de vulnérabilité et d'en décomposer la complexité, dans le but de pouvoir étudier l'influence des composantes et des variables (indicateurs) sur la vulnérabilité systémique (indice) de leur

territoire. Cette approche nécessite par conséquent d'identifier les données permettant de décrire l'évolution historique des différentes composantes de la vulnérabilité (aléas, enjeux, gestion, représentations), pour produire des états successifs en nombre suffisant en vue de retracer des trajectoires.

En appui de cette approche temporelle, l'avantage d'une approche systémique réside dans la possibilité d'analyser ses composantes de manière relativement indépendante, tout en les agrégeant dans une conception globale de la vulnérabilité (Gallopín, 2006). À l'inverse, dans une démarche descendante, il doit être possible de déconstruire la vulnérabilité afin de rechercher et de comprendre l'influence des facteurs la composant. En effet, généralement, l'intérêt d'une approche systémique, notamment sous forme d'un indice composite, n'est pas seulement scientifique : ce type d'indice peut s'intégrer dans un outil de suivi à vocation opérationnelle (Levrel *et al.*, 2010), ou stratégique (Welle *et al.*, 2014) en fournissant des informations comparables utiles pour les décideurs politiques et les gestionnaires (Boruff *et al.*, 2005 ; Cutter *et al.*, 2003). Il peut également servir un objectif de communication et de diffusion d'information auprès d'un large auditoire d'utilisateurs du littoral, professionnels ou non, profanes ou avertis. Il est donc essentiel que l'évaluation reste intelligible pour ces utilisateurs, notamment au regard d'éventuelles finalités opérationnelles.

Objectifs

Dans ce contexte, l'objectif de cette proposition de recherche est triple :

- Reconstituer les trajectoires de vulnérabilité des territoires littoraux aux risques côtiers en enrichissant la base de données OSIRISC par des données historiques permettant d'identifier des événements structurants, des tendances, des cycles ;
- Suivre ces trajectoires en mobilisant l'information géographique disponible et les méthodes de la géomatique pour développer des protocoles de prétraitement permettant d'alimenter de manière pérenne cette base de données et de mettre à jour ses indicateurs et indices ;
- Développer des fonctionnalités d'analyses prospectives et de scénarisation à l'aide d'outils de simulation.

Méthode

Le premier volet de cette perspective de recherche réside dans l'intégration du temps dans la base de données OSIRISC. Il repose à la fois sur la recherche des données complémentaires nécessaires pour parvenir à reconstituer les trajectoires historiques de vulnérabilité des territoires littoraux, et sur une réflexion stratégique sur l'effet des politiques mises en œuvre sur la vulnérabilité future des espaces littoraux. L'approche historique pose en premier lieu la question des choix thématiques à effectuer et des fonds d'archives à mobiliser : quels sont-ils ? Les données existantes sont-elles mobilisables pour décrire l'évolution de la vulnérabilité systémique ? Leur disponibilité et leur forme (archives numériques ou papier) détermineront l'effort à consentir pour permettre leur intégration à une base de données historique. La qualité de ces données (échelle, granularité, précision thématique) contraindra la précision des états qui pourront être produits et par-delà, celle des trajectoires qui pourront être restituées. Des

généralisations sémantiques et des changements d'échelle devront peut-être être consentis, ce qui ne manquera pas de poser des problèmes d'adaptation des indicateurs et des indices. Des compromis devront certainement être recherchés.

Le second volet, qui concerne l'alimentation d'une base de données pérenne et partagée, repose à la fois sur le renforcement des partenariats développés à l'échelle régionale de la Bretagne, et sur le développement des outils de collecte et d'intégration des données dans cette base multithématique et interdisciplinaire partagée. Le partenariat s'appuiera sur le réseau départemental LITTO'RISQUES, l'observatoire régional OSIRISC (§5.1), et sur l'expérience acquise dans le cadre de travaux antérieurs (Le Berre *et al.*, 2008 ; 2013). Il s'agira notamment de compléter l'annuaire des responsables et producteurs des jeux de données ciblés, puis d'alimenter le catalogue de données établi à l'échelle du littoral breton. L'enjeu principal sera de définir précisément, avec chaque producteur/responsable de données, les modalités d'accès et d'utilisation des données identifiées. Les résultats de ce volet auront donc des incidences sur les indicateurs pouvant être renseignés et sur les indices pouvant être calculés dans l'application Web-SIG (Le Berre *et al.*, 2020)⁸¹. En particulier, les données sensibles (réseaux essentiels, données individuelles) devront faire l'objet d'une analyse spécifique. Au-delà de leurs conditions d'accès, il s'agira de rechercher avec les producteurs et les responsables de ces données les solutions les plus appropriées pour leur partage et leur diffusion, au regard de leur caractère confidentiel, ou sensible : réduction de la granularité, discrétisation et typologie, protocoles de transfert des données. Il s'agira également de définir les modalités et la forme à donner à la diffusion grand public des résultats produits.

En complément, un autre développement plus technique concernera les protocoles de traitements géomatiques pour systématiser l'acquisition de certaines données. Ces chaînes de traitement pourront s'appuyer, en amont, sur les boîtes à outils d'extraction et d'intégration de données (type *ETL* : *Extract, Transform, Load*) destinées à moissonner les données nécessaires sur leur serveur de stockage (notamment via certaines IDG telles que GéoBretagne ou les portails des collectivités)⁸², et de leur appliquer les traitements requis pour les intégrer à la base de données PostGres/Postgis qui alimente l'application Web-SIG (Marcel *et al.*, 2018). Dans un second temps, il s'agira de développer des protocoles de production des indicateurs et des indices à partir des variables intégrées dans la base de données. Ces protocoles pourront ensuite être mobilisés dans des interfaces utilisateurs, destinées à encourager les partenaires à intégrer eux-mêmes leurs données dans la base de données. En particulier, en facilitant l'alimentation semi-automatique et en continu des séries d'observations sur la vulnérabilité du littoral breton aux risques côtiers, ce type de développement pourra contribuer aux projets de science citoyenne en cours de développement dans le cadre des projets ANR franco-québécois ARICO et Interreg AGE0⁸³ en cours.

Le troisième volet pose également de nombreuses questions méthodologiques. L'analyse prospective pourra reposer sur le prolongement des trajectoires de vulnérabilité mise en

⁸¹ <https://www-ium.univ-brest.fr/wapps/osi/>

⁸² GéoBretagne, <https://cms.geobretagne.fr/> ; Géo Pays de Brest, <https://geo.pays-de-brest.fr/>

⁸³ Voir vol. 2 et site web Risques côtiers, <https://www.risques-cotiers.fr/connaitre-les-risques-cotiers/projets/>

évidence, à partir des politiques actuellement définies et parfois mises en œuvre sur les territoires et de la déduction de leurs effets probables sur les littoraux. Comprendre les effets des choix politiques et stratégiques passés, par une approche historique, peut en effet permettre d'envisager les effets de choix similaires à l'avenir sur la vulnérabilité systémique (Gallopín, 2006 ; Magnan et al., 2012). Mais la réflexion prospective pourra également se situer en rupture : il conviendra alors de définir la méthode par laquelle des scénarios alternatifs, basés sur des orientations politiques différentes des actuelles pourront être coconstruits avec les partenaires institutionnels et locaux. Sur quelles bases développer ensuite des outils permettant de simuler les effets des variations des différentes composantes sur la vulnérabilité systémique ? Se pose également la question de l'appropriation de ces outils et des modes de représentation de l'information par différentes catégories d'utilisateurs. Ainsi, des points de vue rétrospectif comme prospectif, l'articulation entre les composantes de la vulnérabilité et les trajectoires constitue un point dur de la réflexion. Comment les différentes composantes interagissent-elles ? Ces interactions évoluent-elles dans le temps ? Quelle est la part du déterminisme et de l'auto-organisation dans ces évolutions (Pumain, 2003) ? Un important effort de description des relations entre composantes, et de compréhension de leurs effets réciproques, doit s'envisager préalablement à tout projet de simulation des effets induits par les choix politiques actuels ou à venir.

Résultats attendus

On perçoit bien que dans les deux approches, historique et prospective, un objectif analytique essentiel réside dans l'amélioration de la compréhension de l'articulation entre les composantes de la vulnérabilité systémique, de leur contribution à celle-ci, ainsi que de l'évolution de ce système complexe au fil du temps. L'intérêt scientifique principal de cette proposition de recherche réside en effet dans le suivi de la trajectoire de vulnérabilité systémique en tant que résultante de celles de chacune de ses composantes. Mais, davantage qu'une évaluation brute, il s'agit bien ici d'accompagner les gestionnaires dans leur démarche de caractérisation de la vulnérabilité systémique. Pour atteindre des objectifs opérationnels, il s'agit donc de structurer et de favoriser l'accès à une base de données pertinente et partagée, comme support de réflexion sur les politiques mises en œuvre pour prévenir et atténuer les effets des risques côtiers, ainsi que sur leurs effets potentiels sur le littoral dans le futur.

Le principal résultat attendu de ce cas d'étude réside ainsi dans le développement d'une base de connaissance sur l'évolution spatiotemporelle de la vulnérabilité du littoral breton aux risques côtiers. Cette base de connaissance mutualisée, déjà en cours d'élaboration, constitue un pilier de l'observatoire OSIRISC et du partenariat établi entre scientifiques et gestionnaires du littoral breton. Elle concerne non seulement les enjeux, notamment ceux qui découlent de l'occupation du littoral, mais également les autres composantes de la vulnérabilité systémique. Aléas et gestion bénéficient des suivis déjà mis en œuvre dans le cadre d'OSIRISC. Le verrou principal provient des représentations sociales, dont le suivi présente des difficultés méthodologiques et éthiques, qui nécessitent la poursuite de nos investigations pour envisager sans doute d'autres méthodes d'acquisition et de transcription de ces données personnelles.

Du point de vue méthodologique, les avancées concerneront la mise en application de la notion de trajectoire de vulnérabilité, qui repose jusqu'à présent essentiellement sur des approches théoriques, ou bien sur des modes de restitution (cartographie diachronique, diagrammes de causalité) pouvant certainement être améliorés pour converger davantage avec la notion de trajectoire, en tant que courbe définie par un objet mobile⁸⁴ ou plutôt, dans notre cas, reliant les états successifs d'un objet géographique. En parallèle, on pourra s'attacher à développer des outils de type frise chronosystémique, à la fois pour la co-construction d'une connaissance partagée sur l'émergence des risques côtiers et l'évolution de la vulnérabilité systémique, comme réceptacle de cette connaissance et comme moyen de restitution sous une forme aisément accessible, grâce à sa mise en ligne. La frise est ainsi envisagée comme un émulateur, à la fois pour améliorer la connaissance en suscitant de nouvelles contributions, et comme support à l'indispensable réflexion stratégique à poursuivre sur l'évolution à long terme du littoral breton, en lien avec l'élévation du niveau marin. L'expérience acquise en interne à LETG⁸⁵ en termes de développement de frises chronosystémiques et de cartographie narrative constituera un atout majeur dans ces perspectives, de même que les travaux conduits au sein du Labex DRIIHM (Arnaud, 2019)⁸⁶.

Ainsi, la mise en place d'un dispositif d'observation tel que conçu dans le projet OSIRISC (Hénaff et Philippe, 2020), se trouve confrontée au dilemme classique de la cartographie à vocation opérationnelle, qui doit trouver un compromis acceptable entre la complexité des systèmes à considérer et le temps nécessaire à la collecte, au traitement et à la maintenance de larges volumes de données de sources et de nature hétérogènes. Un compromis doit également être trouvé entre cette complexité et la clarté, l'utilité et l'acceptabilité de l'information générée.

Dans le premier compromis, celui qui découle de l'articulation entre précision de la connaissance et opérationnalisation, on observe actuellement un changement de paradigme. En effet, ce compromis ne dépend plus tant de la disponibilité des données, désormais largement accessibles, que dans ses modalités d'échange, de partage et d'exploitation. D'une part, comme l'usage de l'information géographique s'est largement répandu au sein des organismes gestionnaires des territoires, voire leur a été imposé (notamment par la transcription au plan national de la Directive européenne Inspire⁸⁷ et la loi Lemaire pour une République numérique⁸⁸), le niveau de compétences des opérateurs, de même que la qualité des données se sont fortement élevés. Les gestionnaires sont donc devenus producteurs et pourvoyeurs de données utiles à l'évaluation de la vulnérabilité, et se sont dotés de moyens appropriés, parfois très importants, pour ce faire (notamment des portails web). D'autre part, comme leur exploitation poursuit des besoins opérationnels, ces données possèdent souvent

⁸⁴ D'après les définitions du CNRTL, <https://www.cnrtl.fr/definition/trajectoire>

⁸⁵ Voir les travaux de Laurence David dans le cadre de la Zone atelier Brest Iroise (<https://www-ium.univ-brest.fr/wapps/letg/historade/timeline3/index.html>), ou du projet Life Adviclim (<https://www.adviclim.eu/storymap>).

⁸⁶ Voir aussi la frise de l'OHM Littoral-Caraïbe, <https://ohm-littoral-caraibe.in2p3.fr/frise-chronologique>

⁸⁷ Directive 2007/2/CE établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (Inspire), *Directive 2007/2/CE établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne (Inspire)*

⁸⁸ LOI n° 2016-1321 du 7 octobre 2016 pour une République numérique, <https://www.legifrance.gouv.fr/dossierlegislatif/JORFDOLE000031589829/>

les qualités requises pour une évaluation précise, parfois jusqu'au niveau individuel, de plusieurs composantes de la vulnérabilité, concernant notamment certaines données sensibles, ou à valeur stratégique. Dans bien des cas, les collectivités sont désormais mieux pourvues en données que les scientifiques, notamment en ce qui concerne les données « sensibles » (réseaux, population, etc.). Les scientifiques conscients des limites de leurs capacités de collecte, et soumis comme la plupart des usagers à des contraintes d'accès liées à la confidentialité ou au caractère stratégique de certaines données, doivent imaginer les systèmes permettant l'échange de données et l'alimentation de leurs bases de données, que ce soit à des fins d'analyse ou d'observation (Chouinard *et al.*, 2017)⁸⁹.

Dans le second compromis – entre complexité du système de vulnérabilité et clarté de ses modalités de représentation – au-delà d'une simple cotation des variables étudiées et des territoires qu'elles décrivent, ce sont bien les processus de partage de la connaissance du terrain, de réflexion collective sur le statut ou la position relative des territoires concernés, et de contrôle par les acteurs eux-mêmes de l'ensemble du processus d'analyse et de production d'information, qui offrent le plus de perspectives (Barnett *et al.*, 2008 ; Hénaff et Philippe, 2014).

Ces questions concernent bien entendu la collecte, la circulation et la mutualisation des données décrivant l'évolution du littoral et des risques côtiers. Mais, de manière plus générale, elles considèrent surtout les attentes des gestionnaires en termes de valorisation et d'exploitation de ces données, et réciproquement les apports des scientifiques de ce point de vue, rejoignant en cela les principes de la science de la durabilité⁹⁰.

6.3.3. Trajectoires d'anthropisation des petits bassins versants bretons

Ce troisième cas d'étude s'intéresse à une thématique nouvelle dans mon parcours : l'influence de l'occupation et de l'usage du sol sur la qualité de l'eau et des milieux estuariens en Bretagne. La qualité de l'eau constitue en effet un enjeu majeur, identifié depuis longtemps (Lasserre, 2011) et particulièrement en Bretagne (Merot, 1977 ; Soulard, 1990). Ce sujet revient régulièrement au-devant de l'actualité à la suite d'événements divers (prolifération d'algues vertes, déversements accidentels, mortalités de la faune, etc.)⁹¹ et fait l'objet d'une attention soutenue de la part des pouvoirs publics, et d'une réglementation abondante, dont les effets sont tangibles, mais pas toujours à la hauteur des enjeux environnementaux et sociétaux (Cour des comptes, 2021 ; Fleury et Guyomarc'h, 2003).

⁸⁹ <https://observatoire-littoral-morbihan.fr/>

⁹⁰ Voir article « Et si on cherchait autrement ? », <http://theconversation.com/et-si-on-cherchait-autrement-plaidoyer-pour-une-science-de-la-durabilite-139586>

⁹¹ Quelques exemples récents, les algues vertes (avril 2021), <https://www.letelegramme.fr/cotes-darmor/saint-brieuc/algues-vertes-90-des-echouages-observees-en-bretagne-concentrees-en-baie-de-saint-brieuc-27-04-2021-12741169.php> ; l'Aulne (août 2020), https://www.lemonde.fr/planet/article/2020/08/21/dans-le-finistere-la-colere-apres-une-pollution-massive-de-l-eau-potable_6049496_3244.html ; la Penzé (avril 2021), https://www.francetvinfo.fr/economie/emploi/metiers/agriculture/enquete-pollution-poissons-morts-et-silences-genes-en-bretagne-les-ravages-du-lisier-de-porc-dans-les-rivieres_4365715.html

Contexte

Le lien entre qualité des milieux estuariens et occupation du sol est bien établi (Birch *et al.*, 2015 ; Byrd *et al.*, 2007 ; Van Dolah *et al.*, 2008). Les activités productives figurent parmi les secteurs d'activité exerçant une influence de premier ordre sur la qualité de l'eau. Si l'industrie a fait l'objet de mesures de contrôle et d'épuration assez précoces, des problèmes résident, qu'ils viennent de pratiques aux effets environnementaux mal maîtrisés (« eaux blanches », de lavage des laiteries)⁹², ou d'accidents (celui de l'usine Lubrisol de Rouen pour n'en citer qu'un récent)⁹³. Mais la localisation des établissements industriels étant connue et leurs contrôles imposés par la législation, leurs effets sont généralement identifiés et relativement encadrés. L'agriculture, quant à elle, occupe de larges portions de territoire, notamment en Bretagne (cf. §6.1), ce qui favorise la pollution diffuse, par nature difficile à maîtriser et à contrôler. L'évolution des pratiques, notamment liées à la diffusion du « modèle agricole breton » (Canévet, 1993) – intensif, fortement utilisateur d'intrants (engrais, pesticides, etc.), basé sur une forte concentration des productions (notamment dans les élevages hors-sol) et sur des aménagements fonciers et paysagers parfois radicaux (remembrement, arasement de talus) – se traduit par des effets avérés sur la qualité de l'eau (Abbott *et al.*, 2018 ; Merot, 1977 ; Poisvert *et al.*, 2017). L'urbanisation constitue également un facteur d'altération de la qualité de l'eau, par l'augmentation de la densité de population et par conséquent de la consommation d'eau, par l'imperméabilisation des sols qui favorise le ruissellement des eaux pluviales de surcroît polluées par les émissions des transports routiers, ainsi que par l'absence ou les dysfonctionnements des réseaux et systèmes d'assainissement (Birch *et al.*, 2015 ; Van Dolah *et al.*, 2008). L'éparpillement du bâti résidentiel, très répandu sur le littoral breton, constitue un facteur aggravant car il contraint la mise en œuvre des schémas et des équipements d'assainissement, la conformité des installations étant plus difficile à établir dans les zones non dotées d'équipements collectifs (Halleux *et al.*, 2008).

La qualité de l'eau constitue par conséquent un enjeu environnemental majeur clairement identifié par les acteurs institutionnels de différents niveaux, et au cœur de nombreuses réglementations et politiques publiques. Elle fait d'ailleurs l'objet d'une directive européenne, la Directive-cadre sur l'eau (DCE, 2000/60/CE du 23 octobre 2000) qui vise, à travers sa transposition française, la LEMA⁹⁴, à instaurer l'obligation de protéger et de restaurer la qualité des eaux et des milieux aquatiques. Le contrôle de la qualité des eaux repose en effet sur les États membres qui doivent assurer sa surveillance à travers le suivi de différents paramètres biologiques, hydromorphologiques et physico-chimiques, ainsi que l'identification des polluants rejetés dans les bassins et sous-bassins hydrographiques. Ces mesures doivent permettre d'évaluer l'ampleur des pressions auxquelles les masses d'eau sont soumises au sein de ces bassins et sous-bassins, considérés comme les périmètres de la mise en œuvre d'une gestion durable de l'eau. Elles doivent conduire à l'adoption et la mise en place des dispositifs de gestion de la ressource en eau.

⁹² <https://www.lefigaro.fr/flash-eco/des-usines-lactalis-ne-respectent-pas-le-droit-de-l-environnement-20201019>

⁹³ <https://www.actu-environnement.com/dossier-actu/lubrizol-accident-rouen-seveso-actu-environnement-76>

⁹⁴ Loi sur l'eau et les milieux aquatiques, 30 décembre 2006, <https://www.eaufrance.fr/>

Pour autant, malgré les nombreuses connaissances acquises sur la relation entre occupation du sol et qualité de l'eau et des milieux aquatiques, des difficultés persistent dans l'établissement de liens de causalités et surtout dans le partage des diagnostics et, par conséquent, dans la mise en œuvre de politiques et d'actions appropriées pour traiter cette question (Leenhardt *et al.*, 2021). La question de l'eau reste en effet très polémique, car associée à des intérêts économiques (agriculture et aquaculture ou tourisme notamment) et politiques (développement économique et protection de l'environnement), divergeants ou concurrents, bien que souvent inextricablement liés. Les difficultés persistent pour construire un dialogue serein intégrant l'ensemble des acteurs concernés autour des enjeux à court et à long termes relatifs à la qualité de l'eau (fig. 6.4). Dans ce contexte, l'approche géographique peut contribuer à documenter le débat, par l'analyse conjointe des différents compartiments, écosystémique, socio-économique, mais également politique, des systèmes complexes que constituent les bassins-versants (Rollo, 2012).

Objet

Embouchures naturelles des cours d'eau, les estuaires recueillent puis diffusent vers les océans, tous les résidus et les déchets produits par les activités humaines, qui ruissellent et s'écoulent dans leurs bassins versants (Valiela et Bowen, 2002). Les estuaires subissent par conséquent une grande diversité de pressions d'origine anthropique : altération de la qualité des eaux due aux effluents domestiques et industriels, ainsi qu'à la pollution chimique diffuse liée notamment à l'agriculture et à l'urbanisation, eutrophisation, destruction d'habitats et remobilisation de polluants par les travaux portuaires et les dragages, modification des régimes fluviaux par les régulations hydrauliques en amont, etc. (Borcier *et al.*, 2020 ; Van Dolah *et al.*, 2008). Parmi les plus menacés, les estuaires figurent néanmoins parmi les milieux les plus productifs des systèmes littoraux (Day, 2013 ; Verger, 2005). À l'interface entre eau douce et eau salée, ils exercent des fonctions écosystémiques fondamentales (Costanza *et al.*, 1993), en tant que zones de nourricerie pour les poissons juvéniles de nombreuses espèces marines d'intérêt halieutique (bar, sole, etc.), et en tant que zones de migration pour des espèces amphihalines présentant un cycle mixte eau douce/eau de mer (anguille, saumon, flet). Les estuaires peuvent aussi être considérés comme des bioréacteurs en contribuant notamment à la filtration et à l'épuration des apports terrigènes et, de plus en plus, d'origine anthropique des bassins versants ; ils constituent ainsi une zone tampon d'intérêt écologique majeur entre continent et océan.



Figure 6.4 : La campagne d'affichage de FNE en 2011, notamment contre les algues vertes en Bretagne, a déclenché une polémique largement relayée aux plans médiatique, politique et (presque) judiciaire (source : France Nature Environnement, 2011).

Du fait de cette continuité écologique, qui relie la qualité de l'eau dans les estuaires à l'occupation et à l'usage de leur bassin versant (Birch *et al.*, 2015 ; Rollo, 2012 ; Zampella *et al.*, 2007), les données chimiques qui influencent les marqueurs biologiques sont susceptibles d'être fortement corrélées avec la géographie du territoire (Valiela et Bowen, 2002 ; Van Dolah *et al.*, 2008). Il est donc particulièrement pertinent de rechercher les liens entre les caractéristiques géographiques des bassins versants (occupation et usage du sol, paramètres hydromorphologiques), les indicateurs du milieu (paramètres physico-chimiques), et les réponses biologiques des espèces estuariennes. Mais, dans des systèmes complexes comme les estuaires, la qualification de l'état écologique des eaux constitue un exercice difficile, lié au nombre de facteurs déterminants et à leur forte variabilité temporelle (Costanza *et al.*, 1993). Les études menées sur de grands estuaires (Seine, Loire, Gironde), ont en outre montré la difficulté d'établir des correspondances entre leurs caractéristiques écosystémiques et les facteurs de stress émanant de bassins versants très étendus, donc accueillant des types d'occupation et d'usage divers et d'importance variée (Laroche *et al.*, 2013 ; Marchand *et al.*, 2003). Les petits estuaires constituent en revanche les embouchures de bassins hydrographiques de dimensions modérées au sein desquels les sources de stress peuvent être plus aisées à identifier et à caractériser. De plus, la comparaison de ces petits systèmes devrait conduire à l'identification de différents types de profils d'anthropisation pouvant être reliés à des métriques décrivant l'état de santé des écosystèmes.

L'objet de cette proposition est par conséquent de s'attacher à décrire l'évolution de l'occupation et de l'usage des bassins versants des petits estuaires de Bretagne pour produire des métriques spatiales pouvant être confrontées aux suivis de la qualité des milieux estuariens par les métriques physico-chimiques et biologiques. Par la recherche de leurs correspondances, il s'agit d'approfondir l'analyse de l'état écologique des petits estuaires par une approche multidisciplinaire intégrant l'occupation et l'usage de leurs bassins versants.

Objectif

Ce cas d'étude s'inscrit dans le cadre d'une collaboration amorcée depuis 2020 avec le LEMAR (UMR6539)⁹⁵ dans le cadre du projet émergent ESTUARIES soutenu par ISBlue, et du projet POPEST soutenu par l'Agence française de la biodiversité (Pichereau *et al.*, 2021). Son objectif principal vise à relier deux approches complémentaires.

La première repose sur l'évaluation du niveau de stress subi par les écosystèmes estuariens à travers la mesure de leurs qualités physico-chimique et biologique par des indicateurs variés (teneur en nitrates, phosphates et en divers micropolluants, état de santé des organismes vivants). Les travaux du LEMAR s'attachent depuis près de 20 ans à mesurer les réponses biologiques d'un poisson plat, le flet (*Platichthys flesus*), aux multiples facteurs de stress présents dans divers estuaires européens, plus ou moins anthropisés et de dimensions variables (Laroche *et al.*, 2013 ; Marchand *et al.*, 2003). En effet, ce poisson, durant sa période juvénile, est inféodé aux secteurs oligohalins (salinité < 5 g/L) et mésohalins (entre 5 et 18 g/L), considérés comme les milieux les plus stressants pour les organismes estuariens. Cette espèce est un très bon enregistreur de la qualité de l'environnement estuarien ; elle répond au stress environnemental par des altérations physiques (baisse de croissance, de l'indice de condition, de la fécondité), des dommages cellulaires (génotoxicité au niveau du sang) et diverses perturbations métaboliques (impacts sur la bioénergétique, l'immunité, la fonction de reproduction) (Borcier *et al.*, 2020 ; Marchand *et al.*, 2003). Le flet constitue ainsi une espèce sentinelle qui permet de comprendre la dynamique des écosystèmes estuariens, et ouvre de nombreuses perspectives en termes d'évaluation de la qualité des eaux de transition.

La seconde approche vise à identifier et à évaluer la contribution des déterminants anthropiques dans l'altération de la qualité des eaux estuariennes. Il s'agit donc d'analyser l'occupation et les usages des bassins versants bretons, d'identifier les métriques pouvant être confrontées à celles développées dans les approches biologiques et chimiques des écosystèmes estuariens et d'en analyser la contribution par des méthodes d'analyse multivariée. La comparaison des systèmes étudiés vise à en établir la typologie au regard de leurs caractéristiques et des facteurs et profils de stress identifiés par les mesures de qualité des milieux.

L'objectif est également de reconstituer les trajectoires d'occupation et d'usage du sol dans les bassins versants pour les mettre en relation avec l'évolution de la qualité écologique des eaux, telle que mesurée depuis plus de 20 ans dans les cours d'eau bretons et leurs estuaires (suivi

⁹⁵ <https://www-iuem.univ-brest.fr/lemar/>

hydrobiologique mené par la DREAL ; Abbott *et al.*, 2018). Dans une approche prospective, en mobilisant les partenariats amorcés avec les acteurs de la gestion de l'eau en Bretagne (collectivités territoriales, syndicats mixtes, SAGE), il s'agira de développer des scénarios narratifs pour étudier les effets des évolutions probables de l'occupation et des usages du sol, en lien avec les orientations des politiques de gestion actuelles ou envisagées à court et moyen termes, dans un contexte de changement climatique. Cet objectif constitue le volet applicatif de cette perspective de recherche pour contribuer à construire et à partager les connaissances nécessaires à la mise en œuvre effective des nombreuses politiques et mesures existantes, dont les effets restent à certains égards insuffisants (Poisvert *et al.*, 2017 ; Leenhardt *et al.*, 2021).

Méthode

La méthode repose sur une démarche en quatre étapes visant à construire une base de connaissance pluridisciplinaire sur les systèmes estuariens et leurs bassins versants, à reconstituer leurs trajectoires d'anthropisation, à en établir les relations avec l'évolution de la qualité de l'eau et, enfin à employer une méthode de scénarisation pour coconstruire une réflexion sur l'évolution future à court et moyen termes de ces écosystèmes.

La première étape vise à identifier, collecter et structurer les données pertinentes pour développer une base de données intégrant des descripteurs biologiques (animaux estuariens), physico-chimiques (milieux aquatiques) et géographiques (occupation et usage du sol) permettant de qualifier les estuaires et leurs bassins versants afin de les comparer. Les milieux estuariens seront qualifiés par des paramètres physiques généraux tels que le débit moyen annuel, aire du bassin versant, la longueur, la largeur et la profondeur à l'embouchure, le marnage, etc. La pression de "pollution" au sens large, exercée au niveau du bassin versant par l'eutrophisation par excès d'engrais azotés et d'épandage des effluents d'élevages (surcharges en nitrites et nitrates), par les métaux lourds (plomb, zinc, cuivre, cadmium, etc.) et les micropolluants (HAP, PCB, pesticides, etc.) sera analysée à partir de prélèvements d'eau. La pression liée à l'occupation des bassins versants sera caractérisée par des paramètres de densité de population, d'occupation du sol (surfaces artificialisées, surfaces agricoles, densité bocagère, ripisylve), d'usages agricoles (importance de l'élevage, usage de produits phytosanitaires, mesures agro-environnementales), produits à partir de l'information géographique disponible sur les portails institutionnels (Insee, IGN, GéoBretagne, etc.). Ces portails fourniront également les données permettant de caractériser les altérations anthropiques directes sur l'habitat estuarien (conchyliculture, dragage, aménagements portuaires, etc.). Enfin, les mesures effectuées par le LEMAR sur la physiologie du flet fourniront les paramètres biologiques intégrés à la base de données.

La seconde étape vise à traduire cette information géographique en métriques pouvant être analysées conjointement avec celles issues des études physico-chimiques et biologiques. L'objectif sera d'exprimer toutes les variables collectées sous forme de métriques synthétiques, puis de développer une modélisation statistique multivariée permettant d'en analyser les corrélations et d'évaluer l'influence de l'anthropisation des bassins-versants sur la qualité des milieux estuariens. Il s'agit par conséquent de sélectionner les métriques les plus pertinentes en vue de produire des profils d'anthropisation des estuaires.

Dans une troisième étape, l'objectif visera ainsi à restituer les trajectoires d'occupation et d'usage des bassins-versants, afin d'évaluer la contribution de leur anthropisation à l'évolution de la qualité des milieux. La première difficulté de cette étape réside dans la mobilisation de données historiques permettant de décrire l'évolution des bassins-versants et de leur occupation. Concernant la qualité physico-chimique des milieux, certains estuaires font l'objet de suivis en lien avec la DCE ou d'autres dispositifs (Programme Ecoflux, DREAL)⁹⁶, qui fournissent une description de leur évolution temporelle depuis deux décennies (Abbott *et al.*, 2018). Sur une période de 20 ans, l'information géographique disponible permet en tous cas d'envisager de restituer l'évolution de l'occupation du sol, mais la description de certains usages (agricoles notamment) nécessitera probablement des recherches spécifiques (Houet *et al.*, 2008). Une seconde difficulté de l'exercice réside dans l'analyse de l'évolution spatiotemporelle des corrélations et des contributions des différentes métriques disponibles. Pour ce faire, il faudra probablement remobiliser les méthodes développées sur l'urbanisation résidentielle (Le Berre *et al.*, 2017 ; Thériault *et al.*, 2020) pour configurer la base de données afin de pouvoir y appliquer des méthodes de modélisation statistique spatiotemporelle.

Si des corrélations significatives peuvent être établies, une quatrième étape visera à mettre en œuvre des méthodes de simulation spatiotemporelle afin d'envisager les évolutions probables de l'occupation du sol et de la qualité de l'eau. Il s'agira alors de compléter la base d'information géographique par une analyse systémique et géostatistique des facteurs explicatifs des changements observés dans l'analyse rétrospective (étape 2), et de les exploiter pour pouvoir simuler les évolutions futures. D'après les travaux déjà menés par Houet *et al.*, (2008) sur la thématique de la qualité de l'eau en Bretagne, c'est probablement la méthode des scénarios associée à une modélisation par automates cellulaires ou systèmes multi-agents qui devra s'envisager. Des scénarios exploratoires, tendanciels et contrastés, seront à coconstruire avec les gestionnaires des bassins versants et de l'eau (collectivités, syndicats mixtes), avec lesquels des contacts ont déjà été établis dans le cadre de POPEST (Pichereau *et al.*, 2021). Ces scénarios devront également intégrer les projets des territoires concernés tels que matérialisés par les documents de planification (PLUi, SCoT), ainsi que les tendances démographiques, économiques et environnementales démontrées par les variables de notre base de données : urbanisation et périurbanisation, évolution des systèmes de production agricole. Des scénarios de rupture devront également être conçus en lien étroit avec les incertitudes liées aux changements climatiques en cours.

Outre cette analyse empirique, une modélisation des flux de matière entre bassins-versants et estuaires pourrait permettre d'éprouver les relations détectées entre les différentes variables étudiées. L'apport de ce type de modélisation réside notamment dans l'établissement de relations quantitatives entre les facteurs de pression et l'état des milieux aquatiques en fonction des caractéristiques environnementales et d'usage des bassins-versants. Elle permet également d'en étudier l'évolution temporelle par la simulation des dynamiques de production et de transfert de matière entre bassin-versant et estuaire (Rollo, 2012). Mais ces

⁹⁶ Sur le programme Ecoflux, <https://www-iuem.univ-brest.fr/ecoflux>, page de la DREAL sur la qualité de l'eau, <http://www.bretagne.developpement-durable.gouv.fr/suivi-de-la-qualite-de-l-eau-dans-les-bassins-r988.html>

approches présentent leurs propres difficultés méthodologiques (Leenhardt *et al.*, 2021). Souvent gourmandes en données de natures et de thématiques variées, elles nécessitent des « reformulations » pour s'adapter au système étudié et au cadre de modélisation. Les difficultés proviennent notamment de l'intégration des processus biophysiques et socio-économiques, notamment lorsque des données non quantifiables entrent en compte (en lien par exemple avec les différents points de vue sur la gestion de l'eau). Enfin la modélisation hydrologique mobilise des méthodes complexes, source d'incertitudes qu'il est nécessaire de caractériser notamment pour faciliter les échanges avec les acteurs de la gestion (Leenhardt *et al.*, 2021). Dans ces conditions, la modélisation ne pourra probablement pas s'envisager sur l'ensemble des bassins-versants des petits estuaires bretons, mais sur certains d'entre eux, pour valider les relations établies entre leurs compartiments, simuler l'évolution de ces systèmes, voire l'anticiper en fonction de changements dans sa gestion ou de son contexte.

Résultats attendus

Les résultats attendus correspondent aux différentes étapes envisagées pour ce cas d'étude. La base de données multithématique constituée lors de la première étape, complétée et enrichie par des données spatiotemporelles constituera un premier résultat. Elle devrait constituer une base de travail pertinente pour les travaux interdisciplinaires et coconstruits entre scientifiques et gestionnaires qui sont envisagés à la suite de POPEST. D'un point de vue méthodologique, les méthodes mises en œuvre constituant des nouveautés dans mon parcours de recherche, les apports dépendront en partie des compétences en modélisation et géoprospective que nous parviendrons à mobiliser dans le cadre de ces futurs projets. Enfin, d'un point de vue appliqué, les perspectives les plus intéressantes me semblent pouvoir provenir du réseau de réflexion prospective en cours de constitution avec les gestionnaires de l'eau du territoire breton. Comme dans d'autres régions, la question de l'eau est en effet un des enjeux les plus cruciaux de la Bretagne, et les changements climatiques en cours contribueront certainement à le renforcer.

6.4. Conclusion de la partie

Les perspectives ainsi dessinées s'inscrivent dans la continuité des travaux décrits et discutés dans ce mémoire. Elles portent sur le littoral breton, terrain qui m'est familier, et qui, comme j'espère l'avoir montré, est soumis à des dynamiques majeures, dont certaines sont en voie de renforcement considérable sous l'effet de facteurs divers d'échelles spatiales et temporelles variées. L'occupation et l'usage du sol, notions complémentaires qui permettent d'analyser l'évolution de ces littoraux sous leurs atours à la fois biophysiques et fonctionnels, restent au cœur de ces perspectives. Elles fournissent en effet des indicateurs très pertinents des dynamiques sur lesquelles porteront mes travaux à venir : urbanisation littorale, vulnérabilité systémique aux risques côtiers, anthropisation des bassins versants et qualité de l'eau). Elles constituent également le socle des bases d'information géographique au développement desquelles mes travaux s'attachent à contribuer.

La nouveauté portée par ces perspectives de recherche réside donc essentiellement dans la volonté assumée de m'investir davantage dans la compréhension des processus à l'origine des évolutions que j'ai pu observer sur le littoral breton. M'intéresser aux processus, en plus des états, nécessite de passer de la cartographie (éventuellement diachronique) à une intégration beaucoup plus poussée de la dimension temporelle dans mes travaux. C'est à travers la notion de trajectoire que j'ai choisi de l'envisager. La trajectoire permet en effet d'associer à la description d'un système spatial, et de ses états successifs, celle de son évolution temporelle et des processus qui les déterminent. Elle semble donc appropriée pour contribuer à améliorer la compréhension des évolutions des espaces littoraux, dans toutes leurs dimensions temporelles, qu'elles soient passées (historiques), présentes ou futures.

La figure 6.5 restitue dans un plan spatial et temporel, sans aucune prétention d'exhaustivité, différents outils et les méthodes afférentes sur lesquels, dans le cadre de mes travaux, j'ai pu acquérir une certaine expérience (les SIG, la cartographie diachronique), ceux auxquels j'ai pu me confronter (les frises chronologiques, les cartographies narratives, la modélisation statistique), ou ceux qui restent totalement nouveaux dans mon parcours (les trajectoires, la modélisation prospective). C'est ce qu'exprime le gradient du blanc (mon domaine de compétence) à la couleur orange (mes limites de compétences...), qui témoigne du chemin qui reste à parcourir pour développer ces perspectives.

La mise en œuvre de la notion de trajectoire soulève en effet de nombreuses questions méthodologiques et scientifiques de complexité variable. Elle nécessite en particulier d'investir des domaines de la géographie dans lesquels mon expérience est limitée (la géohistoire), ou encore à acquérir (la géoprospective). Il s'agit donc bel et bien de perspectives de recherche, avec toutes les incertitudes qui s'y rattachent. Pour les surmonter, j'espère bien toutefois pouvoir m'appuyer sur l'environnement de recherche très favorable dans lequel je m'inscris déjà et des compétences qui s'y sont développées, par exemple autour des approches chronosystémiques au sein du Labex DRIIHM (Arnaud, 2019) ou bien, dans l'UMR LETG sur la modélisation prospective à base de systèmes multi-agent ou de jeux de rôle (Gourmelon et al., 2013 ; Houet et al., 2008 ; Tissot, 2018).

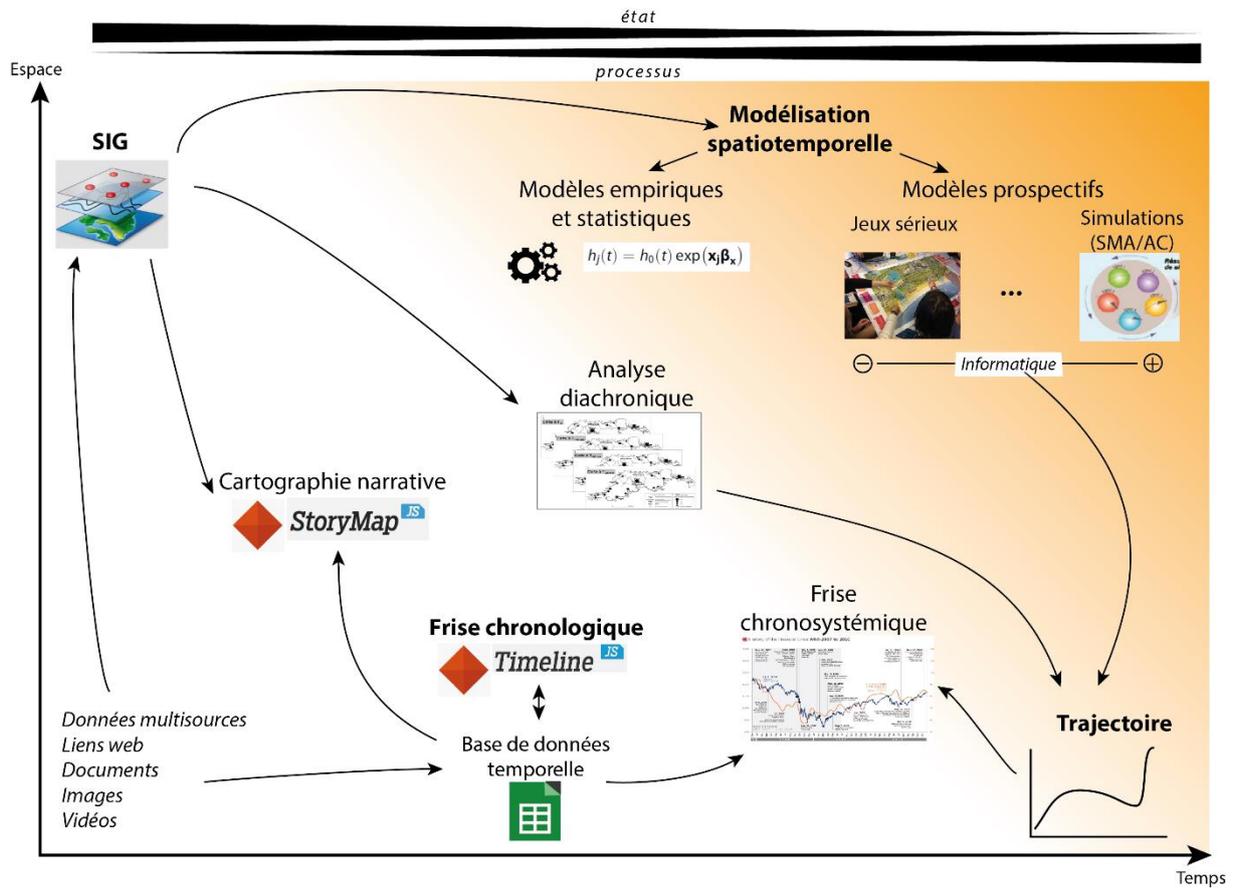


Figure 6.5 : Quelques méthodes d'analyse, de modélisation et de restitution de données spatiotemporelles

Conclusion générale

En guise de conclusion, je souhaite revenir sur le contenu et le déroulé de ce mémoire, et apporter des considérations plus personnelles sur ma contribution à l'étude géographique des changements d'occupation et d'usage du littoral.

La première partie dresse un portrait général des questions liées à l'occupation du littoral. Elle rappelle le rôle fondamental des ressources dans l'intérêt porté par les sociétés humaines pour le littoral. Alimentaires en premier lieu, puis commerciales, minérales et énergétiques, paysagères et récréatives enfin, ces ressources ont toujours constitué un puissant capteur de populations et d'activités. Désormais décuplée, dans une société de consommation, de mobilité et de loisirs telle que la nôtre, cette attractivité s'est considérablement renforcée, à l'échelle mondiale, bien que des littoraux « vides » existent encore. Cette littoralisation se traduit par une modification profonde de l'occupation du littoral par ses implantations industrielles et portuaires massives qui évoluent au gré de la mondialisation des échanges commerciaux et du gigantisme naval, mais également par son développement urbain, qu'il soit dense, comme dans les grandes villes et métropoles du littoral, ou diffus dans les espaces résidentiels périurbains et touristiques les entourant. Pour contenir cette consommation d'espace, une réglementation se met en place, parfois spécifique aux littoraux, les espaces naturels font l'objet de protections de plus en plus importantes et complexes tout au moins dans les pays développés. Mais la réglementation apparaît en définitive souvent timide, en déphasage avec les changements que subissent les littoraux où elle est mise en œuvre avec insuffisamment de cohérence. Pourtant les enjeux apparaissent majeurs, qu'ils soient sociaux (relégation et ségrégations sociospatiales), économiques (concurrence entre activités productives – pêche, aquaculture, ports – et développement touristique et résidentiel, la villégiature et les activités récréatives) et, bien sûr environnementaux, en lien avec la crise contemporaine de la biodiversité, les changements climatiques et l'une de ses conséquences directes sur le littoral, l'élévation du niveau marin, qui fait émerger des territoires de risque.

Ces évolutions et ces enjeux justifient le choix de l'occupation du littoral comme objet de recherche, à la base de mes travaux et de mes projets. Le cadre conceptuel s'inscrit donc tout à fait logiquement dans la géographie de l'environnement et plus spécifiquement du littoral, qui considère cet espace dans sa complexité systémique, entre terre et mer, nature et société. D'un point de vue méthodologique, mes travaux s'adossent fortement au terrain et aux méthodes de la géomatique, ils bénéficient sans conteste de l'ouverture de l'information géographique. Depuis environ une décennie, il est en effet devenu possible de travailler à des granularités fines, sur des terrains de plus en plus étendus et représentatifs des dynamiques d'occupation du littoral, en associant plusieurs échelles du local au régional. Les travaux présentés dans la seconde partie, sont d'ailleurs conformes dans leur évolution à celle de l'information géographique : partant du diagnostic et de l'observation des changements, vers l'analyse de leurs déterminants, notamment la réglementation, jusqu'à l'analyse de certaines de leurs conséquences, notamment pour la vulnérabilité des territoires littoraux aux risques côtiers.

Ce parcours détermine bien entendu les perspectives de recherche présentées dans la troisième partie. Elles concernent le littoral breton, au cœur de mes travaux, à la fois par attachement, par commodité (la proximité du terrain est souvent un atout...), et par pertinence scientifique, notamment au regard des enjeux importants liés à l'évolution de l'occupation du sol, qui sont en cours de renforcement et dont se font l'écho les collectivités territoriales, des acteurs associatifs très dynamiques et très engagés sur les questions environnementales (Eau et Rivières de Bretagne, Bretagne Vivante par exemple), ainsi que les médias.

Ces constats motivent l'envie de donner une nouvelle orientation à mes recherches en tirant bénéfice de l'amélioration de la qualité et de l'accessibilité de l'information géographique, pour davantage mettre l'accent sur la dimension temporelle de l'occupation du littoral. Orientation rétrospective et géohistorique en premier lieu, faisant écho à mes premiers travaux, ainsi qu'à d'autres, plus récents, mais sur des terrains hors de Bretagne (cf. vol. 2)... Orientation prospective ensuite, domaine totalement nouveau dans mon parcours, mais que je suis avec grand intérêt depuis plusieurs années par l'entremise de l'investissement et des contributions très significatives qu'y apportent mes collègues de LETG par leurs recherches. Pour pouvoir apporter des réponses cohérentes face aux enjeux auxquels est confronté le littoral de Bretagne, mais aussi d'ailleurs, il me semble en effet primordial de nous projeter davantage vers cet avenir incertain, à divers égards préoccupant, mais aussi pourquoi pas souhaitable et désiré ? De manière sans doute moins tangible dans ce mémoire, cette nouvelle orientation sera donc aussi très certainement plus citoyenne et plus engagée, dans l'esprit des sciences de la durabilité.

Contribution personnelle à ces projets

L'ensemble de ces perspectives ne peut s'envisager que dans un cadre à la fois collectif et interdisciplinaire. La dimension collective repose sur la complémentarité des compétences, à la fois scientifiques et appliquées, établies au travers des partenariats internes à LETG ou à l'IUEM, ou bien avec divers membres de la communauté scientifique nationale et internationale, ainsi qu'avec la sphère privée et publique. Ces projets, comme du reste la plupart des travaux auxquels j'ai pu contribuer, associent toujours des spécialistes de disciplines différentes, chacun apportant son bagage théorique et méthodologique pour tenter de décrypter les questions souvent complexes posées par les problématiques liées à l'organisation spatiale et territoriale du littoral.

Ma contribution à ces projets repose sur les compétences développées au fil des ans, en géomatique et en géographie du littoral, ceci expliquant l'orientation thématique proposée pour la présentation de ce mémoire et sa structuration.

La mobilisation de compétences en géomatique me permet d'apporter une contribution aux différentes étapes de l'exploitation de l'information géographique. En fonction des problématiques et des thématiques traitées, j'apporte mon expertise pour la collecte des données les plus pertinentes, à partir des référentiels, de l'information géographique thématique ou métier disponible « sur étagère », que ce soit à partir des IDG, ou bien du récolement de données de natures et de sources diverses (archives documentaires, cartes

papier, photographies aériennes, etc.), sans oublier naturellement le terrain. La collecte des données étant effectuée, j'apporte ma contribution à leur intégration dans des bases de données cohérentes, documentées et, désormais, cataloguées. Cela favorise leur mutualisation, condition essentielle au développement des partenariats, ainsi que leur diffusion dans des formats variés, qu'ils soient bruts ou prétraités, analogiques ou numériques. Il s'agit notamment de restituer les résultats de travaux généralement menés à partir de fonds publics, d'en permettre une diffusion aussi large que possible, afin d'en faciliter l'exploitation ou la remobilisation à des fins diverses, tout en les soumettant à l'appréciation, éventuellement critique, de différents types d'auditoires. Enfin, je contribue à l'analyse spatiale de ces données et à l'interprétation de leurs résultats pour en extraire les informations utiles à la compréhension des systèmes analysés.

C'est essentiellement à ce niveau que mes compétences en géographie s'avèrent utiles. La géographie en tant que science sociale de l'espace (Lévy et Lussault, 2013) permet de mobiliser des concepts, et de proposer une approche transversale des problématiques littorales, permettant d'analyser et d'interpréter le fonctionnement des systèmes spatiaux. Du fait de leur caractère multidimensionnel (par leurs composantes à la fois naturelle et sociale), multithématique – car découlant des interactions entre composantes environnementales, sociales, économiques, etc. – et multiscalaire (du local au global...), ces systèmes par nature complexes justifient l'approche géographique en tant que « sciences des complexités » (Lacoste, 2003). Par sa position de « carrefour » (Wackermann, 2005), elle s'inscrit délibérément à l'interface entre plusieurs domaines scientifiques (sciences humaines et sociales, sciences naturelles, sciences économiques et juridiques, etc.), et caresse l'ambition de contribuer à une compréhension globale des processus à l'origine des dynamiques naturelles et anthropiques actuelles, passées ou futures sur la terre.

C'est donc à travers cette double compétence géographique et géomatique que je vois ma contribution à la recherche sur le littoral, fidèle en cela au point de vue exprimé par François Cuq en 1993 : « *plus qu'un outil de recherche spécifique, un SIG représente un environnement de travail au sein duquel les relations entre les informations sont codifiées et rendues possibles* » (Cuq, 1993). De fait, dans les projets de plus grande envergure auxquels j'ai pu participer, j'ai souvent exercé un rôle « d'interface » entre des disciplines variées, ressortissant des sciences naturelles (biologie, géosciences), des sciences humaines (histoire, sociologie, psychologie, et même linguistique...), ou des sciences géomatiques, que ce soit dans le cadre d'approches thématiques ou méthodologiques variées, les deux étant le plus souvent associées. Outre cette compréhension globale et généraliste des systèmes spatiaux, et les développements méthodologiques auxquels elles contribuent, les compétences géographiques sont également utiles pour favoriser le dialogue entre chercheurs et acteurs de la société civile, qu'ils soient élus, gestionnaires, usagers ou simples habitants. La géographie, en tant que « *science des rencontres* » (De Blomac, 1995), bénéficie ainsi grandement des apports conceptuels et méthodologiques de la géomatique « *afin de rendre compte de la complexité de l'espace* ».

Bibliographie

- Abbott B. W., Moatar F., Gauthier O., Fovet O., Antoine V. et Ragueneau O., 2018, Trends and seasonality of river nutrients in agricultural catchments: 18 years of weekly citizen science in France, *Science of The Total Environment*, 624, p. 845-858. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.12.176
- Abrantes P., Fontes I., Gomes E. et Rocha J., 2016, Compliance of land cover changes with municipal land use planning: Evidence from the Lisbon metropolitan region (1990–2007), *Land Use Policy*, 51, p. 120-134. DOI:10.1016/j.landusepol.2015.10.023
- Abuodha P.A.O. et Woodroffe C.D., 2010, Assessing vulnerability to sea-level rise using a coastal sensitivity index: a case study from southeast Australia, *Journal of Coastal Conservation*, 14(3), p. 189-205. DOI:10.1007/s11852-010-0097-0
- Adger W. N., 2006, Vulnerability, *Global Environmental Change*, 16(3), p. 268-281. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006
- Adolphson M., 2008, New urban settlements in a perspective of public and private interests. Case study: a Swedish municipality within the hinterland of the Stockholm city, *Journal of Geographical Systems*, 10(4), p. 345-367. DOI:10.1007/s10109-008-0065-5
- Agardy, T., Alder, J., 2005. Coastal systems, in: Hassan, R., Scholes, R., Ash, N. (Eds.), *Ecosystems and Human Well-Being: Current State & Trends Assessment*. Island Press, Washington DC, pp. 513–549.
- Agarwal C., Green G. L., Grove J. M., Evans T. et Schweik C., 2002, *A Review and Assessment of Land Use Change Models dynamics of space, time, and human choice* (n° General Technical Report NE-297). Newton Square, PA : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. <http://www.treearch.fs.fed.us/pubs/5027>
- Aguejda R., Hubert-Moy L. et Clergeau P., 2006, *Object-oriented Image Analysis for Mapping Urban Expansion in Western France*, 2006 IEEE International Symposium on Geoscience and Remote Sensing, Denver, CO, USA. DOI:10.1109/IGARSS.2006.599
- Aguejda R., Doukari O., Houet T., Avner P. et Vigié V., 2016, Etalement urbain et géoprospective : apports et limites des modèles de spatialisation: Application aux modèles SLEUTH, LCM et NEDUM-2D, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.27668
- Aguejda R. et Hubert-Moy L., 2016, Suivi de l'artificialisation du territoire en milieu urbain par télédétection et à l'aide de métriques paysagères. Application à une agglomération de taille moyenne, Rennes Métropole, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.27465
- Alonso W., 1964, *Location and Land Use: toward a General Theory of Land Rent*. Cambridge (Massachusetts), Harvard University Press.
- Alvarez-Vanhard, E., Houet, T., Mony, C., Lecoq, L., Corpetti, T., 2020. Can UAVs fill the gap between in situ surveys and satellites for habitat mapping? *Remote Sensing of Environment* 243, 111780, DOI:10.1016/j.rse.2020.111780
- An L. et Brown D. G., 2008, Survival Analysis in Land Change Science: Integrating with GIScience to Address Temporal Complexities, *Annals of the Association of American Geographers*, 98(2), p. 323-344. DOI:10.1080/00045600701879045
- Anderson J., 2014, Surfing between the local and the global: identifying spatial divisions in surfing practice, *Transactions of the Institute of British Geographers*, 39(2), p. 237-249. DOI:10.1111/tran.12018
- Anderson N. B. et Bogart W. T., 2001, The Structure of Sprawl: Identifying and Characterizing Employment Centers in Polycentric Metropolitan Areas, *American Journal of Economics and Sociology*, 60(1), p. 147-169. DOI:10.1111/1536-7150.00058
- André C., Monfort D., Bouzit M. et Vinchon C., 2013, Contribution of insurance data to cost assessment of coastal flood damage to residential buildings: insights gained from Johanna (2008) and Xynthia (2010) storm events, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(8), p. 2003-2012. DOI:10.5194/nhess-13-2003-2013

- Anthony, E.J., 2014. Environmental control: Geology and Sediments, in: Masselink, G., Gehrels, W.R. (Eds.), *Coastal Environments and Global Change*. Wiley, American Geophysical Union, Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ, pp. 52–78.
- Arnaud F., 2019, mai, *CHRONO-RHÔNE : Elaboration d'une frise chronosystémique pour l'OHM Vallée du Rhône*. Séminaire scientifique annuel de l'OHM Vallée du Rhône, Villeurbanne, France. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02140681>
- Arthaud J., 2003, Le littoral martiniquais : Martinique, *PCM le pont*, 101(2), p. 59-61.
- Atkins M. T., 2018, "On the move, or staying put?" An analysis of intrametropolitan residential mobility and ageing in place, *Population, Space and Place*, 24(3), p. e2096. DOI:10.1002/psp.2096
- Attardi R., Bonifazi A. et Torre C., 2012, Evaluating Sustainability and Democracy in the Development of Industrial Port Cities: Some Italian Cases, *Sustainability*, 4(11), p. 3042-3065. DOI:10.3390/su4113042
- Aubanel, A., Marquet, N., Colombani, J.M., Salvat, B., 1999. Modifications of the shore line in the Society islands (French Polynesia). *Ocean & Coastal Management* 42, 419–438. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(99\)00023-X](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(99)00023-X)
- Augier H., Vicente N. et Falque M., 1979, Premier essai d'application de la planification écologique au domaine maritime français. Base d'évaluation de l'incidence des aménagements et des activités littorales sur l'environnement marin., *Bulletin de la Fondation océanographique Ricard*, (3, supplément n° 8), p. 40.
- Ávila-García P. et Sánchez E. L., 2012, The Environmentalism of the Rich and the Privatization of Nature: High-End Tourism on the Mexican Coast, *Latin American Perspectives*, 39(6), p. 51-67. DOI:10.1177/0094582X12459329
- Balica S. F., Wright N. G. et van der Meulen F., 2012, A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts, *Natural Hazards*, 64(1), p. 73-105. DOI:10.1007/s11069-012-0234-1
- Bankoff G., 2003, Constructing Vulnerability: The Historical, Natural and Social Generation of Flooding in Metropolitan Manila, *Disasters*, 27(3), p. 224-238. DOI:10.1111/1467-7717.00230
- Bargain J., Douy T., Larpent M., Blot-Geoffroy N., Dajoux S. et Portier J.-F., 2010, Brest métropole océane, un nouveau regard sur la ville, *Les dossiers d'Octant*, (53), p. 23.
- Barnett J., Lambert S. et Fry I., 2008, The Hazards of Indicators: Insights from the Environmental Vulnerability Index, *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1), p. 102-119. DOI:10.1080/00045600701734315
- Baron N., 2013, Pression anthropique sur le littoral, in Euzen A., Eymard L. et Gaill F. (dir.), *Le développement durable à découvert*. CNRS Éditions, p.136-137. DOI:10.4000/books.editions-cnrs.10689
- Baron N., 2017, Littoraux et politiques publiques : le défi du décloisonnement, in Euzen A., Gaill F., Lacroix D. et Cury P. (dir.), *L'océan à découvert*. Paris, CNRS éditions, p.40-41.
- Bartlett D., 1999, Working on the frontier of sciences : applying GIS to the coastal zone, in Wright D. J., Bartlett D. et Raper J. (dir.), *Marine and Coastal Geographical Information Systems*. London, Taylor & Francis, p.11-24.
- Bartlett D., Devoy R., Mc Call S., O'Connell I. et Roche C., 1995, GIS as a CZM tool, in Carroll M. et Dubsky K. (dir.), *Coastal zone management from needs to action*. Dublin, p.208-218.
- Batty M., 2005, Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics, *Environment and Planning A*, 37(8), p. 1373-1394. DOI:10.1068/a3784
- Batty M. et Torrens P.M., 2001, Modeling Complexity: The Limits to Prediction, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.1035
- Baud D. et Bonnemains A., 2018, Trajectoires de vulnérabilité des territoires de montagne face aux changements globaux, *Revue de géographie alpine*, (106-3). DOI:10.4000/rga.5069
- Bell K. P. et Irwin E. G., 2002, Spatially explicit micro-level modelling of land use change at the rural–urban interface, *Agricultural Economics*, 27(3), p. 217-232. DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5150\(02\)00079-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0169-5150(02)00079-8)
- Benoit G. et Comeau A. (dir.), 2005, *Méditerranée: les perspectives du Plan bleu sur l'environnement et le développement*. La Tour d'Aigues : Paris, Aube ; Plan bleu, 427 p.
- Bensettiti F., Bioret F., Glémarec M., Bellan-Santini D. et Géhu J.-M., 2004, *Cahiers d'habitats Natura 2000. Habitats côtiers*. Paris, La Documentation française, 399 p.

- Benson E. D., Hansen J. L., Schwartz A. L. et Smersh G. T., 1998, Pricing Residential Amenities: The Value of a View, *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 16(1), p. 55-73. DOI:10.1023/A:1007785315925
- Béoutis A., Jean P. et Colas S., 2009, *Démographie et économie du littoral*, Les dossiers de l'Observatoire du Littoral. Observatoire du Littoral-INSEE-SOeS. <https://www.insee.fr/fr/statistiques/1379044>
- Bercerra S. et Peltier A. (dir.), 2009, *Risques et environnement, recherches interdisciplinaires sur la vulnérabilité des sociétés*. Paris, L'Harmattan, 575 p.
- Berger G., 1964, L'attitude prospective, *Management International*, 4(3), p. 43-46.
- Bermond M. et Marie M., 2016, Différenciation sociospatiale et migrations résidentielles dans l'aire urbaine de Caen, *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, Octobre (4), p. 817-846.
- Bertrand G., 1978, Le paysage entre la Nature et la Société, *Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest. Sud-Ouest Européen*, 49(2), p. 239-258. DOI:10.3406/rgps.1978.3552
- Bessy P., 1998, Parcours résidentiels des jeunes ménages dans l'espace urbain, in Pumain D. et Mattei M.-F. (dir.), *Données urbaines* vol. 2. Anthropos : Diffusion Economica, p.73-84.
- Bhatta, B., 2012. *Urban Growth Analysis and Remote Sensing - Review of Literature*, in: Urban Growth Analysis and Remote Sensing. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 9–32.
- Bioret F., Gourmelon F. et Le Berre I., 1994, Analyse spatiale du processus d'enrichissement sur l'île d'Ouessant (Finistère), *Norois*, 164(1), p. 547-558. DOI:10.3406/noroi.1994.6584
- Birch G. F., Lean J. et Gunns T., 2015, Historic change in catchment land use and metal loading to Sydney estuary, Australia (1788–2010), *Environmental Monitoring and Assessment*, 187(9), p. 594. DOI:10.1007/s10661-015-4718-9
- Birkmann J., Teichman K. v., Welle T., González M. et Olabarrieta M., 2010, The unperceived risk to Europe's coasts: tsunamis and the vulnerability of Cadiz, Spain, *Natural Hazards and Earth System Science*, 10(12), p. 2659-2675. DOI:10.5194/nhess-10-2659-2010
- Birkmann J. et Welle T., 2015, Assessing the risk of loss and damage: exposure, vulnerability and risk to climate-related hazards for different country classifications, *International Journal of Global Warming*, 8(2), p. 191-212. DOI:10.1504/IJGW.2015.071963
- Blaschke T. et Strobl J., 2001, What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS, *Zeitschrift Fur Geoinformationssysteme*, 14(6), p. 12-17.
- Blondy C., 2016, Le tourisme, un facteur de développement durable des territoires insulaires tropicaux ? Tourisme, aménagement, environnement et société locale à Bora Bora (Polynésie française), *Mondes du Tourisme*, (Hors-série). DOI:10.4000/tourisme.1283
- Bocquet M. et Cavailhès J., 2020, Conversion urbaine de terres et métropolisation du territoire, *Revue d'Economie Regionale Urbaine*, Décembre (5), p. 859-886. <https://www.cairn.info/revue-d-economie-regionale-et-urbaine-2020-5-page-859.htm>
- Bodiguel M. (dir.), 1997, *Le littoral : entre nature et politique*. Paris, Harmattan, 233 p.
- Bohle H.-G., 2002, Vulnerability : editorial to the special issue, *Geographica Helvetica*, 57(1), p. 2-4. DOI:10.5194/gh-57-2-2002
- Bohnet I. C. et Moore N., 2011, Sea- and Tree-Change Phenomena in Far North Queensland, Australia: Impacts of Land Use Change and Mitigation Potential, in Luck G. W., Race D. et Black R. (dir.), *Demographic Change in Australia's Rural Landscapes: Implications for Society and the Environment* vol. 12. Dordrecht, Springer, p.45-69.
- Bolin R. C. et Bolton P. A., 1986, Race, religion, and ethnicity in disaster recovery. FMHI Pub, Program on Environment and Behavior Monograph #42, http://scholarcommons.usf.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1087&context=fmhi_pub
- Bon, O., 2005. L'insoutenable développement urbain de l'île de Tahiti : politique du « tout automobile » et congestion des déplacements urbains. *Les Cahiers d'Outre-Mer* 58, 121–152. <https://doi.org/10.4000/com.433>
- Bonneau M., 1972, Les résidences secondaires de la Baie d'Audierne, *Penn ar Bed*, 8(70), p. 343-349.
- Bonneuil C. et Fressoz J.-B., 2013, *L'événement anthropocène : la Terre, l'histoire et nous*. Paris, Éd. du Seuil, 304 p.

- Booker M. M., 2012, Visualizing San Francisco Bay's Forgotten Past, *Journal of Digital Humanities*, 1(3). <http://journalofdigitalhumanities.org/1-3/visualizing-san-francisco-bays-forgotten-past-by-matthew-booker/>
- Boon, J., 2001. A Socio-Economic Analysis of mangrove Degradation in Samoa. *Geographical Review of Japan* 74, 159–186.
- Borcier E., Charrier G., Couteau J., Maillet G., Le Grand F., Bideau A., Waeles M., Le Floch S., Amara R., Pichereau V. et Laroche J., 2020, An Integrated Biomarker Approach Using Flounder to Improve Chemical Risk Assessments in the Heavily Polluted Seine Estuary, *Journal of Xenobiotics*, 10(2), p. 14-35. DOI:10.3390/jox10020004
- Bordereaux L., 2014, Seashore Law: The Core of French Public Maritime Law, *The International Journal of Marine and Coastal Law*, 29(3), p. 402-414. DOI:10.1163/15718085-12341312
- Boruff B. J., Emrich C. et Cutter S. L., 2005, Erosion Hazard Vulnerability of US Coastal Counties, *Journal of Coastal Research*, 215, p. 932-942. DOI:10.2112/04-0172.1
- Bousquet A., Couderchet L., Gassiat A. et Hautdidier B., 2013, Les résolutions des bases de données « occupation du sol » et la mesure du changement : Articuler l'espace, le temps et le thème, *Espace géographique*, 42(1), p. 61. DOI:10.3917/eg.421.0061
- Boyce J. K., 1994, Inequality as a cause of environmental degradation, *Ecological Economics*, 11, p. 169-178.
- Braudel F., 1990, *La Méditerranée et le monde méditerranéen à l'époque de Philippe II*, 9. éd. Paris, A. Colin, 587 p.
- Breda F., Gavelek R., Bartlett D. et Miller A. H., 1997, *Coastal management, a bibliography of Geographic information System applications*. Charleston, SC : NOAA Coastal Services Center.
- BRGM, 2012, *Explore 2070 - Dynamique des systèmes littoraux et des milieux marins côtiers. Etude du littoral à l'échelle de la Métropole*. BRGM, Rapport MEDD, Octobre 2012, http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/tude_du_littoral_a_l_échelle_de_la_Metropole.pdf
- Brigand L. et Le Berre I., 1994, L'usage de l'espace à Ouessant au milieu du XIXe siècle, *Noroi*, 164(1), p. 535-545. DOI:10.3406/noroi.1994.6583
- Brody S. D. et Highfield W. E., 2005, Does Planning Work? Testing the Implementation of Local Environmental Planning in Florida, *Journal of the American Planning Association*, 71(2), p. 159-175. DOI:10.1080/01944360508976690
- Brossard T., Cavailhès J., Hilal M., Joly D., Tourneux F.-P. et Wavresky P., 2008, La valeur des paysages périurbains dans un marché immobilier en France, in Thériault M. et Des Rosiers F. (dir.), *Information géographique et dynamiques urbaines* vol. 1-2, vol. 2. Paris, Hermes science : Lavoisier, p.225-248.
- Brossard T. et Wieber J.-C., 1980, Essai de formulation systémique d'un mode d'approche du paysage, *Bulletin de l'association des Géographes Français*, (468-469), p. 103-111.
- Brown D. G. et Duh J.-D., 2004, Spatial simulation for translating from land use to land cover, *International Journal of Geographical Information Science*, 18(1), p. 35-60. DOI:10.1080/13658810310001620906
- Brown B.E. et Dunne R.P., 1988, The Environmental Impact of Coral Mining on Coral Reefs in the Maldives, *Environmental Conservation*. 15 (1988) 159. DOI:10.1017/S0376892900028976.
- Brown I., Jude S., Koukoulas S., Nicholls R., Dickson M. et Walkden M., 2006, Dynamic simulation and visualisation of coastal erosion, *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), p. 840-860. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2005.08.002
- Brunet R., 1979, Systèmes et approche systémique en géographie, *Bulletin de l'Association de géographes français*, 56(465), p. 399-407. DOI:10.3406/bagf.1979.5137
- Brunet, R., 1986. La carte-modèle et les chorèmes. *Mappemonde* 4/86, 2–6.
- Bruyelle P., 1998, Littoraux et villes, in Gamblin A. (dir.), *Les littoraux espaces de vies*, vol. 23. Paris, SEDES, p.207-229.
- Buhot C., 2009, Embourgeoisement et effet littoral. Recompositions sociospatiales à La Rochelle et à l'Île de Ré, *Articulo*, (Special issue 1). DOI:10.4000/articulo.1034
- Buhot C., Gérard Y., Brulay F. et Choblet C., 2009, *Tensions foncières sur le littoral*. Rennes, Presses universitaires de Rennes, 172 p.

- Burak S., Dogan E. et Gazioglu C., 2004, Impact of urbanization and tourism on coastal environment, *Ocean & Coastal Management*, 47(9-10), p. 515-527. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2004.07.007
- Burton C. et Cutter S., 2008, Levee Failures and Social Vulnerability in the Sacramento-San Joaquin Delta Area, California, *Natural Hazards Review*, 9(3), p. 136-149. DOI:10.1061/(ASCE)1527-6988(2008)9:3(136)
- Burton I., Kates R. W. et White G. F., 1993, *The environment as hazard*, 2nd ed. New York, Guilford Press, 290 p.
- Byrd K. B., Kelly N. M. et Merenlender A. M., 2007, Temporal and Spatial Relationships Between Watershed Land Use and Salt Marsh Disturbance in a Pacific Estuary, *Environmental Management*, 39(1), p. 98-112. DOI:10.1007/s00267-005-0217-z
- Cabral R. B. et Aliño P. M., 2011, Transition from common to private coasts: Consequences of privatization of the coastal commons, *Ocean & Coastal Management*, 54(1), p. 66-74. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2010.10.023
- Cadoret A. et Lavaud-Letilleul V., 2013, Des « cabanes » à la « cabanisation » : la face cachée de l'urbanisation sur le littoral du Languedoc-Roussillon, *Espace populations sociétés*, (2013/1-2), p. 125-139. DOI:10.4000/eps.5378
- Can A., 1992, Specification and estimation of hedonic housing price models, *Regional science and urban economics*, 22(3), p. 453-474.
- Canévet C., 1993, *Le modèle agricole breton. Histoire et géographie d'une révolution agroalimentaire*. Presses universitaires de Rennes, 397 p.
- Cardona O.-D., van Aalst M. K., Birkmann J., Fordham M., McGregor G., Perez R., Pulwarty R. S., Schipper E. L. F., Sinh B. T., Décamps H., Keim M., Davis I., Ebi K. L., Lavell A., Mechler R., Murray V., Pelling M., Pohl J., Smith A.-O. et Thomalla F., 2012, Determinants of Risk: Exposure and Vulnerability, in Field C. B., Barros V., Stocker T. F. et Dahe Q. (dir.), *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge, Cambridge University Press, p.65-108. DOI:10.1017/CBO9781139177245.005
- Carrion-Flores C. et Irwin E. G., 2004, Determinants of Residential Land-Use Conversion and Sprawl at the Rural-Urban Fringe, *American Journal of Agricultural Economics*, 86(4), p. 889-904. DOI:10.1111/j.0002-9092.2004.00641.x
- Carter R. W. G., 1988, *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. London, Academic Press, 617 p. <http://books.google.fr/books?id=GNsue2JEQigC>
- Casanova Enault L., Coulon M. et Boulay G., 2019, Améliorer l'observation des marchés grâce aux fichiers fonciers. Le cas des sociétés civiles immobilières, *La revue foncière*. Mars-avril 2019 (28), p. 36-40, https://www.revue-fonciere.com/RF28/RF28_Casanova.pdf
- Casanova Enault L., Popoff T. et Debolini M., 2021, Vacant lands on French Mediterranean coastlines: Inventory, agricultural opportunities, and prospective scenarios, *Land Use Policy*, 100, p. 104914. DOI:10.1016/j.landusepol.2020.104914
- Casanova L. et Helle C., 2012, Ce que les dynamiques foncières révèlent du devenir des territoires : éléments de prospective du sud-est français, *L'Espace géographique*, 41(2/2012), p. 111-127. <https://www-cairn-info.scd-proxy.univ-brest.fr/revue-espace-geographique-2012-2-page-111.htm>
- Cazaux E., Meur-Ferec C. et Peinturier C., 2019, Le régime d'assurance des catastrophes naturelles à l'épreuve des risques côtiers. Aléas versus aménités, le cas particulier des territoires littoraux, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.32249
- Cendrero A. et Fischer D. W., 1997, A Procedure for Assessing the Environmental Quality of Coastal Areas for Planning and Management, *Journal of Coastal Research*, 13(3), p. 732-744.
- CEREMA, 2018, *Les Fichiers fonciers, Une donnée enrichie pour l'aménagement du territoire*. Ministère de la Transition Ecologique, <https://datafoncier.cerema.fr/donnees/fichiers-fonciers>
- CERTU, 2006, *Données cadastrales et immobilières : réflexion à partir des retours d'expérience de partenariat DGI et services déconcentrés de l'Équipement*. Centre d'Etude sur les Réseaux les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques. http://www.observation-urbaine.certu.equipement.gouv.fr/IMG/pdf/rapport_d_etude_cle277d51-6.pdf
- Chamseddine L. et Dupont J., 2013, Le littoral breton de 1975 à 2000 : quelle interaction entre les évolutions des espaces urbanisés et les dynamiques de la population? *Espace populations sociétés*, (2013/1-2), p. 41-57. DOI:10.4000/eps.5324
- Chansigaud, V., 2013. *L'homme et la nature : une histoire mouvementée*. Delachaux et Niestlé, Paris, 271 p.

- Charmes E., 2007a, Le malthusianisme foncier, *Etudes foncières*, (125), p. 12-16.
- Charmes E., 2007b, Suburban fragmentation versus mobilities : is suburbanism opposed to urbanism? *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.4882
- Charpentier E., 2013, *Le peuple du rivage: le littoral nord de la Bretagne au XVIIIe siècle*. Rennes, Presses universitaires de Rennes. 434 p.
- Chouinard O., Plante S., Weissenberger S., Noblet M. et Guillemot J., 2017, The Participative Action Research Approach to Climate Change Adaptation in Atlantic Canadian Coastal Communities, in Leal Filho W. et Keenan J. M. (dir.), *Climate Change Adaptation in North America: Fostering Resilience and the Regional Capacity to Adapt*. Cham, Springer International Publishing, p.67-87. DOI:10.1007/978-3-319-53742-9_5
- Cicin-Sain B. et Knecht R. W., 1998, *Integrated coastal and ocean management, concepts and practices*. Washington D.C., Covels, Ca, Island Press, 517 p.
- Cihlar J. et Jansen L., 2001, From Land Cover to Land Use: A Methodology for Efficient Land Use Mapping over Large Areas, *The Professional Geographer*, 53(2), p. 275-289. DOI:10.1080/00330124.2001.9628460
- Claeys C., Arnaud A. et Lambert M.-L., 2017, The impact of legal vulnerability on environmental inequalities. A case study of coastal populations in Guadeloupe (French Antilles), *Comptes Rendus Geoscience*, 349(6-7), p. 351-358. DOI:10.1016/j.crte.2017.09.006
- Clark G. E., Moser S. C., Ratick S. J., Dow, K., Meyer W. B., Emani S., Jin W., Kasperson J. X., Kasperson R. E. et Schwarz H. E., 1998, Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of revere (Ma., USA), *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3(1), p. 59-82.
- Clary D., 1987, L'approche systémique comme méthode d'étude des sociétés littorales et de leurs milieux. Applications à la Basse-Normandie, *Noroi*, 133(1), p. 109-118. DOI:10.3406/noroi.1987.7409
- CNIG, 1994, Lexique des termes usuels de la géomatique, *Revue Internationale de Géomatique*, 4(3-4/1994), p. 411-433.
- Colantoni A., Grigoriadis E., Sateriano A., Venanzoni G. et Salvati L., 2016, Cities as selective land predators? A lesson on urban growth, deregulated planning and sprawl containment, *Science of The Total Environment*, 545-546, p. 329-339. DOI:10.1016/j.scitotenv.2015.11.170
- Colas S., 2011, *Environnement littoral et marin*. Commissariat général au développement durable, Service de l'observation et des statistiques. <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/publications/p/1811/1097/environnement-littoral-marin-edition-2011.html>
- Colas S., 2017, *La distance à la mer : principal facteur de caractérisation sociodémographique du territoire littoral*. Ministère de l'environnement, SOES - service de l'observation et des statistiques, Observatoire national de la mer et du littoral. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/mer-et-littoral>
- Commission européenne, 1999, *Manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne*. EUR15/2, DG Environnement, 132 p.
- Conseil Régional de Bretagne, 2013, *La charte des espaces côtiers bretons. Pour un développement durable de la zone côtière bretonne*. https://www.europe.bzh/upload/docs/application/pdf/2015-01/charte_mai_2013.pdf
- Cooper, J.A.G., Alonso, I., 2006. Natural and anthropic coasts: challenges for coastal management in Spain. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 48 Proceedings of the 3rd Spanish Conference on Coastal Geomorphology, 1-7.
- Corbin A., 1990, *Le territoire du vide : l'Occident et le désir du rivage (1750 - 1840)*. Paris, Flammarion, 407 p.
- Corgne S., 2014, juin, *Étude des changements d'occupation et d'usage des sols en contexte agricole par télédétection et fusion d'informations*. Habilitation à diriger des recherches, Université Rennes 2, <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01240394>
- Corlay J.-P., 1995, Géographie sociale, géographie du littoral, *Noroi*, 165(1), p. 247-265. DOI:10.3406/noroi.1995.6623
- Corlay J.-P., 2003, *Interactions fonctionnelles et spatiales en zone côtière : réflexion pour l'analyse et la gestion*, in Gascuel D. et Fontenelle G., *Activités halieutiques, aménagement et gestion en zone côtière : actes des 5e Rencontres halieutiques*, Rennes, 16-17 mars 2001. https://books.google.fr/books/about/Activit%C3%A9s_halieutiques_am%C3%A9nagement_et.html?id=bWoi49hsi pAC&redir_esc=y

- Costa S. et Davidson R., 2004, Ouvrages transversaux portuaires et impacts hydrosédimentaires : le cas du port de Dieppe (Haute Normandie), *Bulletin de l'Association de géographes français*, 81(3), p. 321-333. DOI:10.3406/bagf.2004.2395
- Costanza R., Kemp W. M. et Boynton W., 1993, Predictability, scale, and biodiversity in coastal and estuarine ecosystems: implications for management, *Ambio*, 22(2-3), p. 88-96.
- Coux G. et Le Berre I., 1996, L'espace agricole à Ouessant du milieu du XIXème siècle à nos jours : organisation et évolution, *Mappemonde*, (4-1996), p. 27-30.
- Cour des Comptes, 2012, *Les enseignements des inondations de 2010 sur le littoral atlantique (Xynthia) et dans le Var*. Rapport public thématique, <https://www.ccomptes.fr/fr/publications/les-enseignements-des-inondations-de-2010-sur-le-littoral-atlantique-xynthia-et-dans>
- Cour des comptes, 2021, *Evaluation de la politique publique de lutte contre la prolifération des algues vertes en Bretagne (2010-2019)*, Rapport public thématique, Chambres régionales et territoriales des comptes. <https://www.ccomptes.fr/system/files/2021-07/20210702-rapport-algues-vertes.pdf>
- Courtot R., 2011, Les mutations du paysage agricole sur le littoral sableux de la petite Camargue aux XIXe et XXe siècles, *Rives méditerranéennes*, 38(1), p. 73-85. DOI:10.4000/rives.3976
- Crain I. K. et Mc Donald C. L., 1984, From land inventory to land management, *Cartographica*, 21, p. 40-46.
- Creach A., 2019, Tempête Xynthia à la Faute-sur-Mer : une analyse a posteriori de l'impact des « zones noires » et des alternatives possibles, *Norois*, (251), p. 43-63. DOI:10.4000/norois.9168
- Creach A., Pardo S., Guillotreau P. et Mercier D., 2015, The use of a micro-scale index to identify potential death risk areas due to coastal flood surges: lessons from Storm Xynthia on the French Atlantic coast, *Natural Hazards*, 77(3), p. 1679-1710. DOI:10.1007/s11069-015-1669-y
- Cuadrado-Ciuraneta S., Durà-Guimerà A. et Salvati L., 2016, Not only tourism: unravelling suburbanization, second-home expansion and "rural" sprawl in Catalonia, Spain, *Urban Geography*, 38(1), p. 1-24. DOI:10.1080/02723638.2015.1113806
- Cunty C., Mathian H., et Groupe Cartomouv, 2015, Les pratiques de cartographie animée pour représenter le changement, *M@ppemonde*, 120(2015/4). <http://mappemonde.mgm.fr/120as1/>
- Cuq F., 1993, *L'utilisation des systèmes d'information géographique pour l'analyse du fonctionnement des écosystèmes*, Les études pluridisciplinaires et les systèmes d'information environnementale, MAB-Unesco, 63-68.
- Cuq F., 2000, Systèmes d'information géographique et gestion intégrée des zones côtières, Populus J. et Loubersac L. (dir.), *CoastGIS'99 : Geomatics and coastal environment*, Brest (France), 9-11 Sept. 1999, Ifremer-Shom, Actes de colloque n° 25, p. 18-29
- Cuq F., Madec V. et Gourmelon F., 1996, Mise à jour de la carte d'occupation des sols des provinces côtières de Guinée-Bissau, *Mappemonde*, (4), p. 21-26, <http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/M496/Cuq.pdf>
- Cutter S. L., Boruff B. J. et Shirley W. L., 2003, Social Vulnerability to Environmental Hazards, *Social Science Quarterly*, 84(2), p. 242-261. DOI:10.1111/1540-6237.8402002
- Cutter S. L., Mitchell J. T. et Scott M. S., 2000, Revealing the Vulnerability of People and Places: A Case Study of Georgetown County, South Carolina, *Annals of the Association of American Geographers*, 90(4), p. 713-737. DOI:10.1111/0004-5608.00219
- Dablanc L., Ogilvie S. et Goodchild A., 2014, Logistics Sprawl: Differential Warehousing Development Patterns in Los Angeles, California, and Seattle, Washington, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2410(1), p. 105-112. DOI:10.3141/2410-12
- Dachary-Bernard J., Gaschet F., Lyser S., Pouyane G. et Virol S., 2011, L'impact de la littoralisation sur les marchés fonciers. Une approche comparative des côtes basque et charentaise, *Economie et statistique*, 444(1), p. 127-154. DOI:10.3406/estat.2011.9647
- Dal Cin R. et Simeoni U., 1994, A model for determining the classification, vulnerability and risk in the southern coastal zone of the Marche (Italy), *Journal of Coastal Research*, 10(1), p. 18-29.
- Daligaux J., 2003, Urbanisation et environnement sur les littoraux : une analyse spatiale, *Rives nord-méditerranéennes*, (15), p. 11-20, <http://rives.revues.org/12#quotation>

- Daligaux J., Minvielle P. et Angles S., 2013, Paysages de l'agriculture littorale dans le Var, *Méditerranée*, (120), p. 87-98. DOI:10.4000/mediterranee.6723
- Dantas M., Gachet F. et Pouyanne G., 2011, Effets spatiaux du zonage sur les prix des logements sur le littoral : une approche hédoniste bayésienne, *Cahiers du GREThA*, 12. <http://cahiersdugretha.u-bordeaux4.fr/2010/2010-12.pdf>
- DATAR, 2004, *Construire ensemble un développement équilibré du littoral*. DATAR.
- Dauvin, J.-C., 1997. *Les biocénoses marines et littorales françaises de côtes Atlantique, Manche et Mer du Nord, synthèse, menaces et perspectives*, Patrimoines naturels. Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. 359 p.
- Dauvin J.-C., 2002, *Gestion intégrée des zones côtières : outils et perspectives pour la préservation du patrimoine naturel*. Paris, Muséum national d'histoire naturelle, coll. Patrimoines naturels n°28, 346 p.
- Davis M., 2004, The Urbanization of Empire: megacities and the laws of chaos, *Social Text*, 22(4 81), p. 9-15. DOI:10.1215/01642472-22-4_81-9
- Day J. W. (dir.), 2013, *Estuarine ecology*, 2nd ed. Hoboken, N.J, Wiley-Blackwell, 550 p.
- De Blomac F., 1995, Les systèmes d'information géographique, *Hérodote*, (76) Les Géographes, la science et l'illusion, p. 148-184.
- Deboudt P. (dir.), 2010, *Inégalités écologiques, territoires littoraux & développement durable*. Villeneuve d'Ascq, Presses universitaires du septentrion, 409 p.
- Deboudt P., 2015, L'aménagement du territoire littoral à l'épreuve des inégalités environnementales, *Annales des Mines - Responsabilité et environnement*, 79(3), p. 83-89.
- Deboudt P., Dauvin J.-C. et Lozachmeur O., 2008, Recent developments in coastal zone management in France: The transition towards integrated coastal zone management (1973–2007), *Ocean & Coastal Management*, 51(3), p. 212-228. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2007.09.005
- Deffontaine, P., Jean-Brunhes Delamarre, M., 1957. Atlas aérien : France. T. II, Bretagne, Val de Loire, Sologne et Berry, Les pays atlantiques en Loire et Gironde, éd. Gallimard. 182 p.
- Defossez S., Vinet F. et Leone F., 2018, Diagnostiquer la vulnérabilité face aux inondations : progrès et limites, in Vinet F., *Inondations, vol. 1 - La connaissance du risque*. Ed. ISTE, coll. Génie civil et géomécanique, p.263-281.
- DeFries R. et Bounoua L., 2004, Consequences of land use change for ecosystem services: A future unlike the past, *GeoJournal*, 61(4), p. 345-351. DOI:10.1007/s10708-004-5051-y
- DeFries R. S., Foley J. A. et Asner G. P., 2004, Land-Use Choices: Balancing Human Needs and Ecosystem Function, *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2(5), p. 249-257. DOI:10.2307/3868265
- Delattre L., Chanel O. et Napoléone C., 2012, Comment modéliser les déterminants locaux de préservation des espaces non-artificialisés en France ? L'apport d'une confrontation littérature-terrain, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, (2012/5), p. 805-829. DOI:10.3917/reru.125.0805
- Delor F. et Hubert M., 2000, Revisiting the concept of 'vulnerability', *Social Science & Medicine*, 50(11), p. 1557-1570. DOI:10.1016/S0277-9536(99)00465-7
- Denize J., Hubert-Moy L., Betbeder J., Corgne S., Baudry J. et Pottier E., 2018, Evaluation of Using Sentinel-1 and -2 Time-Series to Identify Winter Land Use in Agricultural Landscapes, *Remote Sensing*, 11(1), p. 37. DOI:10.3390/rs11010037
- Denner K., Phillips M. R., Jenkins R. E. et Thomas T., 2015, A coastal vulnerability and environmental risk assessment of Loughor Estuary, South Wales, *Ocean & Coastal Management*, 116, p. 478-490. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2015.09.002
- D'Ercole R. et Metzger P., 2011, Les risques en milieu urbain : éléments de réflexion, *EchoGéo*, (18), p. 2-13 DOI:10.4000/echogeo.12640
- D'Ercole R. et Pigeon P., 1999, L'expertise internationale des risques dits naturels : intérêt géographique/Geographical relevance of natural risk assessment on an international scale, *Annales de Géographie*, 108(608), p. 339-357. DOI:10.3406/geo.1999.21777
- D'Ercole R., Thouret J.-C., Dollfus O. et Asté J.-P., 1994, Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse, *Revue de géographie alpine*, 82(4), p. 87-96. DOI:10.3406/rga.1994.3776

- Des Rosiers F., Lagana A. et Theriault M., 2001, Size and proximity effects of primary schools on surrounding house values, *Journal of Property Research*, 18(2), p. 149-168. DOI:10.1080/09599910110039905
- Des Rosiers F., Lagana A., Thériault M. et Beaudoin M., 1996, Shopping centres and house values: an empirical investigation, *Journal of Property Valuation and Investment*, 14(4), p. 41-62. DOI:10.1108/14635789610153461
- Des Rosiers F., Thériault, M., Kestens Y., Villeneuve P., 2002, Landscaping and house values: an empirical investigation, *Journal of real estate research*, 23(1), p. 139-162, DOI:10.1080/10835547.2002.12091072
- Des Rosiers F., Theriault M., Biba G. et Vandersmissen M.-H., 2017, Greenhouse gas emissions and urban form: Linking households socio-economic status with housing and transportation choices, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 44(5), p. 964-985. DOI:10.1177/0265813516656862
- Des Rosiers F., Thériault M., Voisin M. et Dubé J., 2010, Does an Improved Urban Bus Service Affect House Values?, *International Journal of Sustainable Transportation*, 4(6), p. 321-346. DOI:10.1080/15568310903093362
- Desse R.-P. et Meur C., 1994, Le golf en France : enjeux fonciers, *Annales de Géographie*, 103(579), p. 471-490. DOI:10.3406/geo.1994.13803
- Dézert B., 1991, *La périurbanisation en France*. Paris, SEDES, 226 p.
- DIACT, 2007, *Bilan de la loi « Littoral » et des mesures en faveur du littoral*. Paris : Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire - Secrétariat général à la mer. http://www.ecologie.gouv.fr/IMG/pdf/bilan_loi_Littoral_14092007.pdf
- Donzelot J., 2009, *La ville à trois vitesses*. éd. de la Villette, coll. Penser l'espace, 111 p.
- Doody J. P., 2004, 'Coastal squeeze' – an historical perspective, *Journal of Coastal Conservation*, 10(1), p. 129. DOI:10.1652/1400-0350(2004)010[0129:CSAHP]2.0.CO;2
- Doumenge F., 1965, *Géographie des mers*. Paris, Presses Universitaires de France – PUF, coll. Magellan, 278 p.
- Driant J.-C., 2009, *Les politiques du logement en France*, La Documentation Française, coll. Les études (5304-05), p. 181.
- Dronkers J., Gilbert J. T. E., Butler L. W., Carey J. J., Campbell J., James E., McKenzie C., Misdorp R., Quin N., Ries K. L., Schroder P. C., Spradley J. R., Titus J. G. et Vallianos L., 1990, *Strategies for Adaption to Sea Level Rise*, Report of the IPCC Coastal Zone Management Subgroup. Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. 148 p.
- Dubé J., Thériault M. et Des Rosiers F., 2013, Commuter rail accessibility and house values: The case of the Montreal South Shore, Canada, 1992–2009, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 54, p. 49-66. DOI:10.1016/j.tra.2013.07.015
- Ducruet C., 2008, Typologie mondiale des relations ville-port, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.17332
- Ducruet C., 2017, A typology of port cities, in Notteboom T. et al. *Port Economics Management and Policy*, London ; New York, Routledge, Taylor & Francis Group, <https://portconomicsmanagement.org/pemp/contents/part7/port-city-relationships/typology-port-cities/>
- Dufour S. et Lespez L., 2020, *Géographie de l'environnement : la nature au temps de l'Anthropocène*. Armand Colin. 288 p.
- Dupras J., Parcerisas L. et Brenner J., 2016, Using ecosystem services valuation to measure the economic impacts of land-use changes on the Spanish Mediterranean coast (El Maresme, 1850–2010), *Regional Environmental Change*, 16(4), p. 1075-1088. DOI:10.1007/s10113-015-0847-5
- Eakin H. et Luers A. L., 2006, Assessing the Vulnerability of Social-Environmental Systems, *Annual Review of Environment and Resources*, 31(1), p. 365-394. DOI:10.1146/annurev.energy.30.050504.144352
- EEA, 2006a, *The changing faces of Europe's coastal areas*. Copenhagen, Denmark : Luxembourg, European Environment Agency ; Office for Official Publications of the European Communities, 107 p., https://www.eea.europa.eu/publications/eea_report_2006_6
- EEA, 2006b, *Urban sprawl in Europe: The ignored challenge*. Luxembourg, European Environment Agency, Office for Official Publications of the European Communities. http://reports.eea.europa.eu/eea_report_2006_10
- Ehler C. N., Basta D. J. et LaPointe T. F., 1982, *An automated data system for strategic assessment of living marine resources in the Gulf of Mexico*, Foreman J. (dir.), Autocarto 5, 5th International Symposium on Computer-Assisted

- cartographie, Crystal City, Virginia, USA. <http://cartogis.org/docs/proceedings/archive/auto-carto-5/pdf/an-automated-data-system-for-strategic-assessment-of-living-marine-resources-in-the-gulf-of-mexico.pdf>
- El Sanharawi M. et Naudet F., 2013, Comprendre la régression logistique, *Journal Français d'Ophtalmologie*, 36(8), p. 710-715. DOI:10.1016/j.jfo.2013.05.008
- Elkind S. S., 2006, Environmental Inequality and the Urbanization of West Coast Watersheds, *Pacific Historical Review*, 75(1), p. 53-61. DOI:10.1525/phr.2006.75.1.53
- Ellis E. C., Klein Goldewijk K., Siebert S., Lightman D. et Ramankutty N., 2010, Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000: Anthropogenic transformation of the biomes, *Global Ecology and Biogeography*, 19(5), p.589-606. DOI:10.1111/j.1466-8238.2010.00540.x
- Emsellem K., Lizard S. et Scarella F., 2012, La géoprospective : l'émergence d'un nouveau champ de recherche ? *L'Espace géographique*, 41(2), p. 154-168. DOI:10.3917/eg.412.0154
- Ericson, J., Vorosmarty, C., Dingman, S., Ward, L., Meybeck, M., 2006. Effective sea-level rise and deltas: Causes of change and human dimension implications. *Global and Planetary Change* 50, p. 63-82. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2005.07.004>
- Erlanson J. M. et Braje T. J., 2015, Coasting out of Africa: The potential of mangrove forests and marine habitats to facilitate human coastal expansion via the Southern Dispersal Route, *Quaternary International*, 382, p. 31-41. DOI:10.1016/j.quaint.2015.03.046
- European Communities, 2001, *Manual of concepts on land cover and land use information systems*. Statistical Office of the European Communities, Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-manuals-and-guidelines/-/KS-34-00-407?inheritRedirect=true>
- Euzen A., Gaill F., Lacroix D. et Cury P. (dir.), 2017, *L'océan à découvert*. Paris, CNRS éditions, 321 p.
- Ewing R. H., 2008, Characteristics, Causes, and Effects of Sprawl: A Literature Review, *Environmental and Urban Issues*, 21(2), p. 1-15.
- Eymery C., 2014, *Du texte à la carte : contribution de la géographie à la traduction spatiale de la « loi Littoral ». Application en Bretagne*. Thèse de doctorat de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, HAL Id : tel-01114773.
- Farénioux B. et Verlhac E., 2008, *Le dysfonctionnement des marchés du logement en zone touristique*. Paris : Rapport Conseil Général des Ponts et Chaussées, n° 004983, <http://fedars.e-monsite.com/medias/files/le-dysfonctionnement-des-marches-du-logement-touristique-janvier-2008-1.pdf>
- Fasquel F., 2012, Mesurer la consommation d'espace par l'urbanisation à partir des fichiers fonciers, in Dron D. (dir.), *Urbanisation et consommation de l'espace, une question de mesure*, Service de l'observation et des statistiques (SOeS) du Commissariat général au développement durable. p.41-46. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Revue_CGDD_etalement_urbain.pdf
- Faure H., Walter R. C. et Grant D. R., 2002, The coastal oasis: ice age springs on emerged continental shelves, *Global and Planetary Change*, 33(1-2), p. 47-56. DOI:10.1016/S0921-8181(02)00060-7
- Feger J., Descadilles P., Puech P. et Ribotto R., 1975, L'urbanisation du littoral, *Espaces*, (15), p. 9-14.
- Fisher P. F., Comber A. J. et Wadsworth R., 2014, Land use and Land cover: contradiction or complement, in Fisher P. et Unwin D. J. (dir.), *Re-presenting GIS*. John Wiley & Sons. p. 85-98
- Flatrès P., 1979, L'évolution des bocages : la région Bretagne, *Noroi*, 103(1), p. 303-320. DOI:10.3406/noroi.1979.3784
- Fleury J. et Guyomarc'h J.-P., 2003, *Le défi de la qualité des eaux en Bretagne*. CESER, région Bretagne. https://ceser.bretagne.bzh/upload/docs/application/pdf/2008-12/d_fi-eau.pdf
- Foley J. A., 2005, Global Consequences of Land Use, *Science*, 309(5734), p. 570-574. DOI:10.1126/science.1111772
- Forrester J. W., 1979, *Dynamique urbaine*. Paris, Economica, 329 p.
- Fottorino E. et Soares A., 2005, *Le tiers sauvage : un littoral pour demain*. Paris, Gallimard loisirs : Conservatoire du littoral, 143 p.
- Foucher M., 1982, Esquisse d'une géographie humaine des risques naturels, *Hérodote*, 1982/01(24), p. 40-67.

- Fricker A. et Forbes D. L., 1988, A system for coastal description and classification, *Coastal Management*, 16(2), p. 111-137. DOI:10.1080/08920758809362052
- Friggit J., 2014, *Prix de l'immobilier d'habitation sur le long terme*, Conseil général de l'environnement et du développement durable, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, mars 2014, <http://www.cgedd.developpement-durable.gouv.fr/>
- Gallopín G. C., 2006, Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity, *Global Environmental Change*, 16(3), p. 293-303. DOI:10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004
- Gamblin A. (dir.), 1998, *Les littoraux - espaces de vie*. Paris, Sedes, 368 p.
- Garbolino E. et Voiron-Canicio C. (dir.), 2021, *Ecosystem and territorial resilience: a geopropective approach*. Amsterdam, Elsevier, 372 p.
- Garcia, C., Servera, J., 2003. Impacts of tourism development on water demand and beach degradation on the island of Mallorca (Spain). *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography* 85, p. 287–300.
- Garry G., 1994, Évolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France, *Mappemonde*, 1994(4), p. 10-16.
- Garry G., Grasz E., Toulemont M. et Levoy F., 1997, *Plans de prévention des risques littoraux (PPR), guide méthodologique*. La documentation Française. Paris, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, Ministère de l'équipement, des transports et du logement, 54 p. http://catalogue.prim.net/144_plans-de-prevention-des-risques-littoraux-ppr-guide-methodologique.html
- Gedan K. B., Silliman B. R. et Bertness M. D., 2009, Centuries of Human-Driven Change in Salt Marsh Ecosystems, *Annual Review of Marine Science*, 1(1), p. 117-141. DOI:10.1146/annurev.marine.010908.163930
- Geist H., McConnell W., Lambin E. F., Moran E., Alves D. et Rudel T., 2006, Causes and Trajectories of Land-Use/Cover Change, in Lambin E. F. et Geist H. (dir.), *Land-Use and Land-Cover Change*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg, p.41-70. DOI:10.1007/3-540-32202-7_3
- Geniaux G., Ay J.-S., Darly S., Marty P. et Salanié J., 2017, Les déterminants de l'artificialisation des sols en zones rurales et périurbaines et les impacts sur l'agriculture, in *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : Déterminants, impacts et leviers d'action*. IFSTTAR, INRA, p.274-331. <http://presse.inra.fr/Communiqués-de-presse/sols-artificialisés-et-processus-d-artificialisation-des-sols>
- Geniaux G., Ay J.-S. et Napoléone C., 2011, A spatial hedonic approach on land use change anticipations, *Journal of Regional Science*, 51(5), p. 967-986. DOI:10.1111/j.1467-9787.2011.00721.x
- Geniaux G. et Napoléone C., 2011, Évaluation des effets des zonages environnementaux sur la croissance urbaine et l'activité agricole, *Economie et statistique*, 444(1), p. 181-199. <https://doi.org/10.3406/estat.2011.9650>
- Geniaux G., Napoléone C. et Leroux B., 2015, Les effets prix de l'offre foncière, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, 2015(1-2), p. 273-320. DOI:10.3917/reru.151.0273
- Geniaux G., Podjleski C., Leroux B., Napoléone C. et Lacoste P., 2009, Les données MAJIC et leur valorisation au service de l'observation foncière, *Études foncières*, (139), p. 21-36, <https://hal.inrae.fr/hal-02664113>
- Georis-Creuseveau J., 2014, décembre, *Spatial Data Infrastructures (SDIs) : methodology development for the study of usages : the case of coastal stakeholders and ICZM in France* Thèse, Université de Bretagne occidentale – Brest, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01092922>
- Gesta A., 1987, *Un outil de gestion : l'inventaire permanent du littoral*, Colloque Mer et littoral, couple à risque., Biarritz, sept. 1987.
- Ghekière J.-F. et Houillon V., 2013, Le vieillissement démographique des communes côtières en France : un phénomène uniforme ? *Espace populations sociétés*, (2013/1-2), p. 59-93. DOI:10.4000/eps.5347
- Giacona F., Martin B., Eckert N. et Desarthe J., 2019, Une méthodologie de la modélisation en géohistoire : de la chronologie (spatialisée) des événements au fonctionnement du système par la mise en correspondance spatiale et temporelle, *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, 14, p. 171-199. DOI:10.4000/physio-geo.9186
- Gibson C. C., Ostrom E. et Ahn T. K., 2000, The concept of scale and the human dimensions of global change: a survey, *Ecological Economics*, 32(2), p. 217-239. DOI:10.1016/S0921-8009(99)00092-0

- Gibson J., 1999, Legal and regulatory bodies: Appropriateness to integrated coastal zone management, *Final report to the European Commission–DG XI. D, 2*, p. 108.
- Girard C.-M., Gilliot J.-M., Girard M.-C. et Thorette J., 1997, Comparaison de la cartographie de l'occupation des terres par classification de données de télédétection avec la cartographie CORINE niveau3 : application à une zone au nord-ouest de l'Île-de-France, *Revue Internationale de Géomatique*, 7(1/1997), p. 57-86.
- Godet L. et Thomas A., 2013, Three centuries of land cover changes in the largest French Atlantic wetland provide new insights for wetland conservation, *Applied Geography*, 42(0), p. 133-139. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeog.2013.05.011>
- Goeldner-Gianella L., 2013, *Dépendre en Europe occidentale: pour une géographie et une gestion intégrées du littoral*. Paris, Publications de la Sorbonne, coll. Territoires en mouvements, 340 p.
- Goiffon M., 2003a, Les enjeux d'une gestion intégrée du littoral dans les départements français insulaires d'Amérique, *Méditerranée*, 100(1), p. 35-40. DOI:10.3406/medit.2003.3280
- Goiffon M., 2003b, Pression foncière et littoralisation à la Martinique, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 56(223), p. 351-374. DOI:10.4000/com.831
- Gonzalo Malvarez G., Pollard J. et Rodriguez R. D., 2000, Origins, management, and measurement of stress on the coast of southern Spain, *Coastal Management*, 28(3), p. 215-234, DOI: 10.1080/089207500408638
- Gornitz V. M., Beaty T. W. et Daniels R. C., 1997, *A Coastal Hazards Data Base for the U.S. West Coast*. DOI:10.3334/CDIAC/ssr.ndp043c
- Gössling, S., 2001. The consequences of tourism for sustainable water use on a tropical island: Zanzibar, Tanzania. *Journal of Environmental Management* 61, 179–191. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0403>
- Gotô M., 2017, « Ceux des plages » et « Ceux des collines » : les « paysans » des villages littoraux dans le Japon prémoderne, *Histoire, économie & société*, 36(2), p. 46-58. DOI:10.3917/hes.172.0046
- Gourmelon F., Bioret F., Brigand L., Cuq F., Hily C., Jean F., Le Berre I. et Le Demez M., 1995, *Atlas de la Réserve de Biosphère de la Mer d'Iroise : inventaire numérique des milieux terrestres, intertidaux et marins*, vol. 2. Brest, CROEMI, UBO, 96 p.
- Gourmelon F., Bioret F. et Le Berre I., 2001, Land-use changes and implications for management of a small protected island off the coast of Bretagne, *Journal of Coastal Conservation*, 7(1), p. 41-48. DOI:10.1007/BF02742466
- 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*, 32, p. 96-107. DOI:10.1016/j.landusepol.2012.10.015
- Gourmelon F., Etienne M., Rouan M., Kerbirou C., Charles M., Bioret F., Chlous-Ducharme F., Guermeur Y. et Levrel H., 2008, Éléments de prospective environnementale dans une réserve de biosphère, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.20343
- Gourmelon F., Noucher M., Georis Creuseveau J., Amelot X., Gautreau P., Le Campion G., Maulpoix A., Pierson J., Pissot O. et Rouan M., 2019, An integrated conceptual framework for SDI research: experiences from French case studies, *International Journal of Spatial Data Infrastructure Research*, (14), p. 54-82. DOI:10.2902/1725-0463.2019.14.art3
- Gourmelon F. et Robin M., 2005, *SIG et environnement côtier*. éd. Hermès, 328 p.
- Grandclement A. et Boulay G., 2015, Fonction résidentielle et dynamique de la fiscalité locale sur le littoral méditerranéen français, *L'Espace géographique*, 44(1), p. 57-72. DOI:10.3917/eg.441.0057
- Grataloup C., 2015, *Introduction à la géohistoire*. Paris, Armand Colin, 224 p.
- Gregory I., 2002, A place in history. A guide to Using GIS in Historical Research. <http://hds.essex.ac.uk/g2gp/gis/index.asp>
- Grelot J.-P., 1982, *An inventory of french littoral*, Foreman J. (dir.), Autocarto5, 5th International Symposium on Computer-Assisted cartographie, Crystal City, Virginia, USA. <http://cartogis.org/docs/proceedings/archive/autocarto-5/pdf/an-inventory-of-french-littoral.pdf>
- Grether D.M. et Mieszkowski P., 1974, Determinants of real estate values, *Journal of Urban Economics*, 1(2), p. 127-145.

- Griffond-Boitier A., Mariani-Rousset S., Frankhauser P., Valentin J., Alexandre V. et Nicot B., 2012, Habiter : où et comment ? in Frankhauser et Ansel D. (dir.), *La décision d'habiter ici ou ailleurs*. Paris, Economica : Anthropos, p.42-74.
- Guellec A., 1979, Les types de remembrement dans le centre Bretagne : exemple dans les Côtes-du-Nord, *Norois*, 103(1), p. 404-407. DOI:10.3406/noroi.1979.3792
- Guetté A., Godet L. et Robin M., 2018, Historical anthropization of a wetland: steady encroachment by buildings and roads versus back and forth trends in demography, *Applied Geography*, 92, p. 41-49. DOI:10.1016/j.apgeog.2018.01.012
- Guilcher A., 1954, *Morphologie littorale et sous-marine*. Paris, PUF, 215 p.
- Guilcher, A., 1988. *Coral reef geomorphology*, Coastal morphology and research. Wiley, Chichester-New York, 228 p.
- Guilcher A. et Moign A., 1977, Coastal Conservation and Coastal Studies in France, *The Geographical Journal*, 143(3), p. 378. DOI:10.2307/634708
- Guillén, J., Palanques, A., 1997. A historical perspective of the morphological evolution in the lower Ebro river. *Environmental Geology* 30, 174–180. <https://doi.org/10.1007/s002540050144>
- Guillopé P., Gigot P. et Vigné P., 1994, Une chaîne de traitement de l'information géographique au service de l'application de la Loi Littoral, *Mappemonde*, (3-1994), p. 12-15.
- Guineberteau T., Meur-Ferec C. et Trouillet B., 2006, La gestion intégrée des zones côtières en France : mirage ou mutation stratégique fondamentale ? *Vertigo*, 7(3), p. 14, <https://doi.org/10.4000/vertigo.2569>
- Gurran N., 2008, The Turning Tide: Amenity Migration in Coastal Australia, *International Planning Studies*, 13(4), p. 391-414. DOI:10.1080/13563470802519055
- Gurran N., Blakely E. J. et Squires C., 2007, Governance Responses to Rapid Growth in Environmentally Sensitive Areas of Coastal Australia, *Coastal Management*, 35(4), p. 445-465. DOI:10.1080/08920750701525776
- Hägerstrand T., 1967, *Innovation diffusion as a spatial process* 2. impr. Chicago, Ill., Univ. of Chicago Press, 334 p.
- Hägerstrand T., 1970, What about people in regional science, *Papers of the Regional Science Association*, 24(1), p. 7-21.
- Haines-Young R. H. (dir.), 1996, *Landscape ecology and geographic information systems* Reprinted. London, Taylor & Francis, 288 p.
- Halleux J.-M., Lambotte J.-M. et Brück L., 2008, Étalement urbain et services collectifs : Les surcoûts d'infrastructures liés à l'eau, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, mars (1), p. 21-42. DOI:10.3917/reru.081.0021
- Hammer R. B., Stewart S. I., Winkler R. L., Radeloff V. C. et Voss P. R., 2004, Characterizing dynamic spatial and temporal residential density patterns from 1940–1990 across the North Central United States, *Landscape and Urban Planning*, 69(2–3), p. 183-199. DOI:<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2003.08.011>
- Hansen W. G., 1959, How Accessibility Shapes Land Use, *Journal of the American Institute of Planners*, 25(2), p. 73-76. DOI:10.1080/01944365908978307
- Hédou F. et Leclerc B., 2020, *Évaluation prospective des enjeux affectés par le recul du trait de côte*, MeriGéo, e-colloque. <https://www.merigeo.fr/content/download/147320/file/08-Pr%C3%A9sentation-Cerema-Erosion%20cotiere%20V2.pdf>
- Hédou F., Roche A., Trmal C. et Deniaud Y., 2015, *Méthodologie d'élaboration de l'indicateur national d'érosion côtière*, Brest. Novembre 2015, MeriGéo, p. 69-72
- Hellequin A.-P., Flanquart H., Meur-Ferec C. et Rulleau B., 2013, Perceptions du risque de submersion marine par la population du littoral languedocien : contribution à l'analyse de la vulnérabilité côtière, *Natures Sciences Sociétés*, 21(4), p. 385-399. DOI:10.1051/nss/2014002
- Hénaff A., 2012, *L'approvisionnement sédimentaire dans les systèmes littoraux tempérés : sources, évolution et gestion*, Habilitation à diriger des recherches (HDR). Université de Bretagne Occidentale, IUEM-UBO, Brest, France.
- Hénaff A., Le Cornec E., Jabbar M., Pétré A., Corfou J., Le Drezen Y. et van Vliët-Lanoë B., 2018, Caractérisation des aléas littoraux d'érosion et de submersion en Bretagne par l'approche historique, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.29000

- Hénaff A., Meur-Ferec C. et Lageat Y., 2013, Changement climatique et dynamique géomorphologique des côtes bretonnes. Leçons pour une gestion responsable de l'imbrication des échelles spatio-temporelles, *Cybergeo : European Journal of Geography*. DOI:10.4000/cybergeo.26058
- Hénaff A. et Philippe M. (dir.), 2014, *Gestion des Risques d'érosion et de Submersion Marines*. Rapport de fin de projet COCORISCO, 81 p., <https://www.risques-cotiers.fr/connaître-les-risques-cotiers/projets/cocorisco/guide-et-glossaire-cocorisco/>
- Hénaff A. et Philippe M., 2020 (dir.), *Expérimentation pour un observatoire régional de la vulnérabilité aux risques côtiers en Bretagne*. Rapport final projets OSIRISC et OSIRISC+, UBO, CNRS, Cerema, Fondation de France, DREAL Bretagne.
- Herold M., Goldstein N. C. et Clarke K. C., 2003, The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling, *Remote Sensing of Environment*, 86(3), p. 286-302. DOI:10.1016/S0034-4257(03)00075-0
- Holligan P. M. et De Boois H., 1993, *Land-Ocean Interaction in the Coastal Zone : science plan* vol. 25. Stockholm, IGBP, 49 p. http://www.igbp.net/download/18.950c2fa1495db7081e1947/1430900182870/IGBP_report_25-LOICZ.pdf
- Hooke, 1994. *On the Efficacy of Humans as Geomorphic Agents*. *GSA today*, 4, p. 224–225.
- Hopley D., 1988, Anthropogenic influences on Australia's Great Barrier Reef, *Australian Geographer*, 19(1), p. 26-45. DOI:10.1080/00049188808702949
- Hosmer D. W. et Lemeshow S., 2000, *Applied logistic regression*, 2nd ed. New York, Wiley, 373 p.
- Houet T. et Gourmelon F., 2014, La géoprospective – Apport de la dimension spatiale aux démarches prospectives, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.26194
- Houet T., Hubert-Moy L. et Tissot C., 2008, Modélisation prospective spatialisée à l'échelle locale: approche méthodologique, *Revue Internationale de Géomatique*, 18, p. 345-373.
- Houet T., Verburg P. H. et Loveland T. R., 2009, Monitoring and modelling landscape dynamics, *Landscape Ecology*, 25(2), p. 163-167. DOI:10.1007/s10980-009-9417-x
- Hudson B. J., 1996, *Cities on the shore: the urban littoral frontier*. London ; New York, Pinter, 180 p.
- Huete R. et Tros-de-Ilarduya M., 2013, La valorisation touristique : une occasion pour préserver des parcs naturels sur le littoral d'Alicante (Espagne), in Perrin C. (dir.), *Un littoral sans nature? L'avenir de la Méditerranée face à l'urbanisation*. Rome, École française de Rome, p.281-294.
- Hunt A. et Watkiss P., 2011, Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature, *Climatic Change (2011) 104:*, p. 13-49.
- Hunter, J.M., Arbona, S.I., 1995. Paradise lost: An introduction to the geography of water pollution in Puerto Rico. *Social Science & Medicine* 40, 1331–1355. DOI:10.1016/0277-9536(94)00255-R
- Irwin E. G. et Bockstael N. E., 2007, The evolution of urban sprawl: evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), p. 20672-20677. DOI:10.1073/pnas.0705527105
- Irwin E. G., Jayaprakash C. et Munroe D. K., 2009, Towards a comprehensive framework for modeling urban spatial dynamics, *Landscape Ecology*, 24(9), p. 1223-1236. DOI:10.1007/s10980-009-9353-9
- James D., Collin A., Mury A. et Costa S., 2020, Very high resolution land use and land cover mapping using Pleiades-1 stereo imagery and machine learning, *ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLIII-B2-2020, p. 675-682. DOI:10.5194/isprs-archives-XLIII-B2-2020-675-2020
- Jauze J.-M., 2013, Highs and lows of the resortification of the Saint-Paul coast (Reunion Island), *Miscellanea Geographica - Regional Studies on Development*, 17(1), p. 5-14. DOI:10.2478/v10288-012-0029-y
- Jauze J.-M. et Ninon J., 1999, Dynamiques et expressions de la périurbanisation à la Réunion, *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 52(206), p. 143-168, <https://doi.org/10.3406/caoum.1999.3723>
- Johnson K., Depietri Y. et Breil M., 2016, Multi-hazard risk assessment of two Hong Kong districts, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 19, p. 311-323. DOI:10.1016/j.ijdr.2016.08.023

- Jonkman S. N., Jongejan R. et Maaskant B., 2011, The Use of Individual and Societal Risk Criteria Within the Dutch Flood Safety Policy-Nationwide Estimates of Societal Risk and Policy Applications, *Risk Analysis*, 31(2), p. 282-300. DOI:10.1111/j.1539-6924.2010.01502.x
- Jonkman S. N. et Kelman I., 2005, An Analysis of the Causes and Circumstances of Flood Disaster Deaths: An Analysis of the Causes and Circumstances of Flood Disaster Deaths, *Disasters*, 29(1), p. 75-97. DOI:10.1111/j.0361-3666.2005.00275.x
- Juigner M., Robin M., Debaine F. et H len F., 2017, A generic index to assess the building exposure to shoreline retreat using box segmentation: Case study of the Pays de la Loire sandy coast (west of France), *Ocean & Coastal Management*, 148, p. 40-52. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2017.07.014
- Kamagata N., Akamatsu Y., Mori M., Li Y., Hoshino Y. et Hara K., 2005, Comparison of pixel-based and object-based classifications of high resolution satellite data in urban fringe areas, 26th Asian Conference on Remote Sensing and 2nd Asian Space Conference, ACRS 2005, Hano vol. 3.
- Kerguillac R., Aud re M., Baltzer A., Debaine F., Fattal P., Juigner M., Launeau P., Le Mauff B., Luquet F., Maanan M., Pouzet P., Robin M. et Rollo N., 2019, Monitoring and management of coastal hazards: Creation of a regional observatory of coastal erosion and storm surges in the pays de la Loire region (Atlantic coast, France), *Ocean & Coastal Management*, 181, p. 104904. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2019.104904
- Kestens Y., Thériault M. et Des Rosiers F., 2005, Heterogeneity in hedonic modelling of house prices: looking at buyers' household profiles, *Journal of Geographical Systems*, 8(1), p. 61-96. DOI:10.1007/s10109-005-0011-8
- Kestens Y., Thériault M. et Des Rosiers F., 2008, Choix résidentiels des ménages lors de l'acquisition d'une maison unifamiliale, in Thériault M. et Des Rosiers F. (dir.), *Information géographique et dynamiques urbaines*, vol. 1-2, vol. 1. Paris, Hermes science : Lavoisier, p.197-226.
- Kestens Y., Thériault M. et Rosiers F. D., 2004, The impact of surrounding land use and vegetation on single-family house prices, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(4), p. 539-567. DOI:10.1068/b3023
- Khelil N., Larid M., Grimes S., Le Berre I. et Peuziat I., 2019, Challenges and opportunities in promoting integrated coastal zone management in Algeria: Demonstration from the Algiers coast, *Ocean & Coastal Management*, 168, p. 185-196. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2018.11.001
- Kienberger S., 2012, Spatial modelling of social and economic vulnerability to floods at the district level in B zi, Mozambique, *Natural Hazards*, 64(3), p. 2001-2019. DOI:10.1007/s11069-012-0174-9
- Kienberger S., Lang S. et Zeil P., 2009, Spatial vulnerability units-Expert-based spatial modelling of socio-economic vulnerability in the Salzach catchment, Austria, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, p. 767-778, <https://doi.org/10.5194/nhess-9-767-2009>
- Kilmister I. F., Clarke E. A. et Taylor P. J., 1978, *Metropolis*. London, Bronze, 334 p.
- Kirk R. W., Bolstad P. V. et Manson S. M., 2011, Spatio-temporal trend analysis of long-term development patterns (1900-2030) in a Southern Appalachian County, *Landscape and Urban Planning*. DOI:10.1016/j.landurbplan.2011.09.008
- Knowles A. K., 2005, *Historical Uses of GIS*. PACSCL symposium, "Future Foundations: Mapping the Past, Philadelphia GeoHistory Network. <https://www.philageohistory.org/geohistory/symposium/presentations.cfm>
- Ku t  M. et Assongmo T., 2002, Développement contre Environnement sous les Tropiques : l'exemple du littoral de la région de Kribi (Cameroun), *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 55(219), p. 279-306. DOI:10.4000/com.1003
- Lacaze J.-C., 1993, *La dégradation de l'environnement côtier : conséquences écologiques*. Paris, Masson, 149 p.
- Lacaze J.-P., 1996, *Le logement au péril du territoire*.  d. de l'Aube, 90 p.
- Lacoste Y., 2003, *De la géopolitique aux paysages: dictionnaire de la géographie*. Paris, A. Colin, 413 p.
- Lageat Y., 2004, Géomorphologie et gestion des littoraux, *Bulletin de l'Association de géographes français*, 81(3), p. 360-370. DOI:10.3406/bagf.2004.2398
- Lamacchia M. R., 2013, La profondeur de l'espace littoral. Réflexion sur les limites à partir de la pratique de l'urbanisme., in Perrin C. (dir.), *Un littoral sans nature? L'avenir de la Méditerranée face à l'urbanisation*. Rome,  cole française de Rome, p.19-28.

- Lambert M.-L., 2013, GIZC et élévation du niveau marin : vers une gestion innovante des littoraux vulnérables, *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, (Hors-série 18). DOI:10.4000/vertigo.14331
- Lambin E. F. et Geist H. (dir.), 2006, *Land-Use and Land-Cover Change: Local Processes and Global Impacts*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg. 176 p.
- Lambin E. F. et Geist H. J., 2007, Causes of land-use and land-cover change, *The Encyclopedia of Earth*. https://editors.eol.org/eoearth/wiki/Causes_of_land-use_and_land-cover_change
- Lambin E. F., Turner B. L., Geist H. J., Agbola S. B., Angelsen A., Bruce J. W., Coomes O. T., Dirzo R., Fischer G. et Folke C., 2001, The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths, *Global environmental change*, 11(4), p. 261-269.
- Lami T., Hénaff A., Le Dantec N. et Letortu P., 2020, octobre, Projets OSIRISC et OSIRISC+ : fiches protocoles mesures aléas risques cotiers. <https://www.risques-cotiers.fr/wp-content/uploads/2019/10/fiches-protocoles-mesures-aleas-risques-cotiers.pdf>
- Laroche J., Gauthier O., Quiniou L., Devaux A., Bony S., Evrard E., Cachot J., Chérel Y., Larcher T., Riso R., Pichereau V., Devier M. H. et Budzinski H., 2013, Variation patterns in individual fish responses to chemical stress among estuaries, seasons and genders: the case of the European flounder (*Platichthys flesus*) in the Bay of Biscay, *Environmental Science and Pollution Research*, 20(2), p. 738-748. DOI:10.1007/s11356-012-1276-3
- Larrosa Rocamora J. A., 2003, La difficile maîtrise de l'urbanisation littorale espagnole : l'exemple de la commune d'Elche (province d'Alicante), *Rives méditerranéennes*, (15), p. 53-66. DOI:10.4000/rives.416
- Lasserre F., 2011, *Eaux et territoires : tension, coopérations, et géopolitique de l'eau* 3e éd. Québec, Presses de l'Université du Québec. 518 p.
- Lavaud-Letilleul V., 2012, L'aménagement portuaire en débat. Points de vue d'acteurs sur les grands projets d'équipement portuaire du littoral français, *Norois*, (225), p. 11-28. DOI:10.4000/norois.4320
- Le Berre I., 2017, L'artificialisation des littoraux : déterminants et impacts, in Béchet B., Le Bissonnais Y. et Ruas A. (dir.), *Sols artificialisés et processus d'artificialisation des sols : déterminants, impacts et leviers d'action*, IFSTTAR, INRA, p.234-254. <http://institut.inra.fr/Missions/Eclairer-les-decisions/Expertises/Toutes-les-actualites/Sols-artificialises-et-processus-d-artificialisation-des-sols>
- Le Berre I., David L., Le Tixerant M., Defenouillère J. et Nogues L., 2013, Infrastructure de données géographiques et gestion intégrée de la zone côtière : Les enseignements de l'expérience MIMEL, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.26032
- Le Berre I., Giraudet J. et Hénaff A., 2005, Suivi du littoral par SPOT 5 : cartographie de l'occupation du sol, *Photo-Interprétation*, 41(2005/3), p. 3-13 + 6 planches illustrations.
- Le Berre I., Lami T., Rouan M., Philippe M., Hénaff A., Le Dantec N., Meur-Ferec C., Guillou E. et Letortu P., 2020, OSIRISC - Une application WEB-SIG de suivi de la vulnérabilité systémique des littoraux, MeriGéo, e-colloque. https://www.merigeo.fr/content/download/147322/file/10-Le-Berre%20et%20al%20OSIRISC_MeriGeo2020.pdf
- Le Berre I., Maulpoix A., Thériault M. et Gourmelon F., 2016a, A probabilistic model of residential urban development along the French Atlantic coast between 1968 and 2008, *Land Use Policy*, 50, p. 461-478. DOI:10.1016/j.landusepol.2015.09.007
- Le Berre I., Maulpoix A., Thériault M. et Gourmelon F., 2016b, Une base de données pour modéliser l'urbanisation résidentielle en zone côtière, Emsellem K., Moreno Sierra D., Voiron-Canicio C. et Josselin D. (dir.), Nice, 6-9 décembre 2016. SAGEO 2016 - Spatial Analysis and Geomatics, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01419488>
- Le Berre I., Quemmerais F. et Fichaut B., 2008, Révision de l'atlas Polmar-Terre du Département de la Manche : vers un SIG opérationnel interservices, *Cybergeo*, (422), <http://www.cybergeo.eu/index18082.html>.
- Le Berre I., Thériault M., Maulpoix A. et Gourmelon F., 2017, Moderation effect of planning on housing development along the French Atlantic coast: findings from an event history hazard model, *Journal of Land Use Science*, 12(4), p. 271-291. DOI:10.1080/1747423X.2017.1322154
- Le Délézir R., 2008, Le développement littoral en question, *Pour*, 199(4), p. 109-115. DOI:10.3917/pour.199.0109
- Le Dû-Blayo L., 2007, *Le paysage en Bretagne - enjeux et défis*. Editions Palantines, 350 p.
- Le Pape E., 1993, *L'aménagement du littoral*. Paris, La Documentation Française, 112 p.

- Le Roy N., 2009, *Brest, de la ville militaire à la métropole occidentale de la Bretagne : constructions politiques de territoires et productions identitaires*, Thèse de doctorat en Sociologie, Université de Bretagne occidentale.
- Lebahy Y., 2004, *Le Pays maritime*, *ArMen*, (136), p. 14-23.
- Lebahy Y. et Le Délézir R., 2006, *Le littoral agressé, pour une politique volontariste de l'aménagement en Bretagne*. Paris, éd. Apogée, 190 p.
- Leenhardt, D., Barreteau, O., Voltz, M. (Eds.), 2021. *L'eau en milieu agricole : Outils et méthodes pour une gestion intégrée et territoriale*, Quae. éd, coll. Synthèse, 283 p.
- Léger J.-F., 2012, La population des lotissements : de la cour d'école au club du 3e âge ? *Population & Avenir*, 710(5), p. 15-17. DOI:10.3917/popav.710.0015
- Leone F., 2004, Une approche quantitative de la cartographie des risques naturels : application expérimentale au patrimoine bâti de la Martinique (Antilles françaises), *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 10(2), p. 117-126. DOI:10.3406/morfo.2004.1208
- Leone F., Aste J.-P. et Velasquez E., 1995, Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain, *Bulletin de l'Association de géographes français*, 72(4), p. 350-371. DOI:10.3406/bagf.1995.1849
- Lescoat J., 1996, *La Bretagne ou l'environnement égaré : essai sur l'organisation de l'espace en France à partir du cas breton*. Spézet, Coop Breizh, 164 p.
- Levrel H., Fossat J. et Pelletier D., 2010, Les indicateurs de biodiversité marine et côtière : état des lieux institutionnel, *Vertigo*, 10(2). DOI:10.4000/vertigo.9893
- Lévy J. et Lussault M., 2013, *Dictionnaire de la géographie*. Paris, Belin.
- Li A. et Ford J., 2019, Understanding Socio-Ecological Vulnerability to Climatic Change through a Trajectories of Change Approach: A Case Study from an Indigenous Community in Panama, *Weather, Climate, and Society*, 11(3), p. 577-593. DOI:10.1175/WCAS-D-18-0093.1
- Liziard S., 2013, Littoralisation de l'Arc Latin : Analyse spatio-temporelle de la répartition de la population à une échelle fine, *Espace populations sociétés*, (2013/1-2), p. 21-40. DOI:10.4000/eps.5308
- Loh C. G., 2011, Assessing and Interpreting Non-conformance in Land-use Planning Implementation, *Planning Practice & Research*, 26(3), p. 271-287. DOI:10.1080/02697459.2011.580111
- Lompech M., 2018, Désenchantement dans les Tatras. La vulnérabilité des « Alpes de poche » (Slovaquie), *Revue de géographie alpine*, 106(3). DOI:10.4000/rga.4977
- Magnan A., Duvat V. et Garnier E., 2012, Reconstituer les « trajectoires de vulnérabilité » pour penser différemment l'adaptation au changement climatique, *Natures Sciences Sociétés*, 20(1), p. 82-91. DOI:10.1051/nss/2012008
- Mandelbrot B. B., 1967, How long is the coast of Britain ? Statistical self-similarity and fractional dimension, *Science*, (156), p. 636-638.
- Manson S. M., Sander H. A., Ghosh D., Oakes J. M., Orfield, Jr M. W., Craig W. J., Luce, Jr T. F., Myott E. et Sun S., 2009, Parcel Data for Research and Policy, *Geography Compass*, 3(2), p. 698-726. DOI:10.1111/j.1749-8198.2008.00209.x
- Marcel O., Le Berre I., Rouan M., Philippe M. et Hénaff A., 2018, *Une application WEB-SIG de suivi de la vulnérabilité systémique des littoraux (projet OSIRISC)*, MériGéo, mars 2018, Aix-en-Provence, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-01761712>
- Marchand J., Tanguy A., Laroche J., Quiniou L. et Moraga D., 2003, Responses of European flounder *Platichthys flesus* populations to contamination in different estuaries along the Atlantic coast of France, *Marine Ecology Progress Series*, 260, p. 273-284.
- Marco J. B., 1994, Flood risk mapping, in Rossi G., Harmancioğlu N. et Yevjevich V. (dir.), *Coping with Floods*. Dordrecht, Springer Netherlands, p.353-373. DOI:10.1007/978-94-011-1098-3_20
- Marnot B., 2015, *Les villes portuaires maritimes en France: XIXe-XXIe siècle*. Paris, Colin, 240 p.
- Martignac C., Metzger P., Thinon P. et Cheylan J.-P., 2011, Formes de la croissance urbaine et exclusion sociale à la Réunion: un héritage historique, *Mappemonde*, 102(2011/2), <http://mappemonde.mgm.fr/num30/articles/art11202.html>

- Martinez C., 2006, *1986-2006, 20 ans de loi Littoral. Bilan et propositions pour la protection des espaces naturels*. Paris, France : Comité français de l'UICN. http://www.uicn.fr/pdfs/plaquette_20ans_loi_litt.pdf
- Martínez M. L., Intralawan A., Vázquez G., Pérez-Maqueo O., Sutton P. et Landgrave R., 2007, The coasts of our world: Ecological, economic and social importance, *Ecological Economics*, 63(2-3), p. 254-272. DOI:10.1016/j.ecolecon.2006.10.022
- Mas J.-F., 2000, Une revue des méthodes et des techniques de télédétection du changement, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 26(4), p. 349-362. DOI:10.1080/07038992.2000.10874785
- Mas J.-F., Kolb M., Paegelow M., Camacho Olmedo M. T. et Houet T., 2014, Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages, *Environmental Modelling & Software*, 51, p. 94-111. DOI:10.1016/j.envsoft.2013.09.010
- Masselink G. et Gehrels W. R. (dir.), 2014, *Coastal environments and global change*. Chichester, West Sussex ; Hoboken, NJ, Wiley, American Geophysical Union, 448 p. DOI:10.1002/9781119117261
- Maurel M.-C., 2009, Penser l'historicité des territoires, in Berger A., Chevalier P., Cortés G. et Dedeire M. (dir.), *Héritages et trajectoires rurales en Europe*. L'Harmattan, p.21-40. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00693514>
- Mc Harg I. L., 1967, *Design with Nature*. The Natural History Press.
- McKenzie R. et Levendis J., 2010, Flood Hazards and Urban Housing Markets: The Effects of Katrina on New Orleans, *The Journal of Real Estate Finance and Economics*, 40(1), p. 62-76. DOI:10.1007/s11146-008-9141-3
- Mclaughlin S. et Cooper J. A. G., 2010, A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers?, *Environmental Hazards*, 9(3), p. 233-248. DOI:10.3763/ehaz.2010.0052
- McLaughlin S., McKenna J. et Cooper J. A. G., 2002, Socio-economic data in coastal vulnerability indices: constraints and opportunities, *Journal of Coastal Research*, 36(Special Issue), p. 487-497. DOI:10.2112/1551-5036-36.sp1.487
- MEDDE, 2014, *Guide méthodologique : Plan de prévention des risques littoraux*. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie ; Direction générale de la Prévention des Risques, Service des Risques Naturels et Hydrauliques. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/guide-pprl_decembre-2013.pdf
- MEDDTL, 2011, *Plan submersions rapides (submersions rapides, crues soudaines et ruptures de digues)*. MEDDTL. http://www.mementodumaire.net/wp-content/uploads/2012/07/plan_sub_rap.pdf
- Melot R. et Bransieq M., 2016, Règles d'urbanisme et choix politique : les observations de l'État sur les projets locaux, *Revue d'Economie Régionale & Urbaine*, (2016/4), p. 767-798. DOI:10.3917/reru.164.0767
- Melot R. et Paoli J.-C., 2013, Espaces protégés, espaces sanctuarisés ? Conflits autour de la loi Littoral en Corse, *Économie rurale*, 332(6), p. 60-73, DOI:10.4000/economierurale.3661
- Menanteau L., Thomas Y.-F. et Brouchoud H., 1997, Emploi de l'imagerie satellitaire SPOT pour l'analyse de la transformation des paysages littoraux : le cas des marismas de la Basse-Andalousie (Espagne), *Les Cahiers Nantais*, (47-48), p. 321-328.
- Mendoza-González G., Martínez M. L., Lithgow D., Pérez-Maqueo O. et Simonin P., 2012, Land use change and its effects on the value of ecosystem services along the coast of the Gulf of Mexico, *Ecological Economics*, 82, p. 23-32. DOI:10.1016/j.ecolecon.2012.07.018
- Mercier G., 1990, Etude de l'insularité, *Norois*, 145(1), p. 9-14. DOI:10.3406/noroi.1990.4456
- Mercier G., 2006, La norme pavillonnaire: mythologie contemporaine, idéal urbain, pacte social, ordre industriel, moralité capitaliste et idéalisme démocratique, *Cahiers de géographie du Québec*, 50(140), p. 207-239. DOI:10.7202/014087ar
- Merckelbagh A., 2009, *Et si le littoral allait jusqu'à la mer ! La politique du littoral sous la Ve République*. Editions Quae, 349 p.
- Merlin P., 2002, *L'aménagement du territoire*. Presses Universitaires de France, 448 p.
- Merlin P., 2008, *Tourisme et aménagement touristique, des objectifs inconciliables ?* La Documentation Française, 220 p.
- Merot P., 1977, Le bocage et l'eau, *Penn ar Bed*, (90), p. 154-159.

- Metzger M. J., Rounsevell M. D. A., Acosta-Michlik L., Leemans R. et Schröter D., 2006, The vulnerability of ecosystem services to land use change, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 114(1), p. 69-85. DOI:10.1016/j.agee.2005.11.025
- Meur-Ferec C., 2007, La GIZC à l'épreuve du terrain : premiers enseignements d'une expérience française, *Développement durable et territoires*. DOI:10.4000/developpementdurable.4471
- Meur-Ferec C., 2008, *De la dynamique naturelle à la gestion intégrée de l'espace littoral/ un itinéraire de géographe*. Habilitation à diriger des recherches de Géographie, Université de Nantes, EdiLivres, 249 p. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00167784/document>
- Meur-Ferec C., Deboudt P. et Morel V., 2008, Coastal Risks in France: An Integrated Method for Evaluating Vulnerability, *Journal of Coastal Research*, 2, p. 178-189. DOI:10.2112/05-0609.1
- Meur-Ferec C. et Guillou E., 2020, Interest of Social Representation Theory to grasp coastal vulnerability and to enhance coastal risks management, *Psychology*, 11(1), p. 78-89. DOI:10.1080/21711976.2019.1644003
- Meur-Ferec C., Lageat Y. et Hénaff A., 2013, La gestion des risques côtiers en France métropolitaine : évolution des doctrines, inertie des pratiques ? *Géorisques*, 2013(4), p.57-68. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00430767>
- Meur-Ferec C., Le Berre I., Cocquemont L., Guillou É., Hénaff A., Lami T., Dantec N. L., Letortu P., Philippe M. et Noûs C., 2020, Une méthode de suivi de la vulnérabilité systémique à l'érosion et la submersion marines, *Développement durable et territoires*, (Vol. 11, n°1). DOI:10.4000/developpementdurable.16731
- Meur-Ferec C., Le Berre I., David L., Hénaff A., Cuq V. et Lageat Y., 2012, *Atlas des risques d'érosion-submersion, contribution à l'étude de la vulnérabilité côtière des communes de Gâvres et Guisseny* Annexe rapport final Adaptalitt, Brest : LETG-Brest Géomer.
- Meur-Ferec C. et Morel V., 2004, L'érosion sur la frange côtière : un exemple de gestion des risques, *Natures Sciences Sociétés*, 12(3), p. 263-273. DOI:10.1051/nss:2004038
- Meur-Ferec C. et Rabuteau Y., 2014, Plonevez-les-Flots : un territoire fictif pour souligner les dilemmes des élus locaux face à la gestion des risques côtiers, *L'Espace géographique*, 43(1), p. 18-34. DOI:10.3917/eg.431.0018
- Meyfroidt P., Lambin E. F., Erb K.-H. et Hertel T. W., 2013, Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5), p. 438-444. DOI:10.1016/j.cosust.2013.04.003
- Meynier A., 1966, La genèse du parcellaire breton, *Noroi*, 52(1), p. 595-610. DOI:10.3406/noroi.1966.7296
- Meynier A., 1976, *Atlas et géographie de la Bretagne*. Flammarion, 293 p.
- Michel-Guillou E. et Meur-Ferec C., 2017, Representations of coastal risk (erosion and marine flooding) among inhabitants of at-risk municipalities, *Journal of Risk Research*, 20(6), p. 776-799. DOI:10.1080/13669877.2015.1119181
- Michelot A., 2017, L'océan, un bien commun ? in Euzen A., Gaill F., Lacroix D. et Cury P. (dir.), *L'océan à découvert*. Paris, CNRS éditions, p.44-45.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005, *Ecosystems and human well-being: synthesis*. Washington, DC, Island Press, 137 p.
- Mimet A., Raymond R., Simon L. et Julliard R., 2013, Can designation without regulation preserve land in the face of urbanization? A case study of ZNIEFFs in the Paris region, *Applied Geography*, 45, p. 342-352. DOI:10.1016/j.apgeog.2013.10.001
- Mineo-Kleiner L., Perherin C., Meur-Ferec C., et Camille Noûs, 2021, La difficile territorialisation des stratégies nationales de gestion des risques côtiers en France, *Annales de géographie*, N° 738(2), p. 50-76. DOI:10.3917/ag.738.0050
- Minvielle P., 2006, Urbanisation et protection du vignoble du littoral varois, *Sud-Ouest européen*, 21(1), p. 57-64, http://www.persee.fr/doc/rgpso_1276-4930_2006_num_21_1_2912
- Missonnier J., 1976, *Les bocages : histoire, écologie, économie*. Rennes, 5-7 juillet 1976, 590 p. https://pmb.bretagne-vivante.org/pmb/opac_css/index.php?lvl=notice_display&id=65696&seule=1
- Moles A. A., 1982, Nissonologie ou science des îles, *Espace géographique*, 11(4), p. 281-289. DOI:10.3406/spgeo.1982.3782

- Morel V., Deboudt P., Hellequin A.-P., Herbert V. et Meur-Ferec C., 2006, Regard rétrospectif sur l'étude du risque en géographie à partir des publications universitaires (1980-2004), *L'Information Géographique*, (1-2006), p. 6-24, hal-00281026
- Morhange C. et Marriner N., 2010, Mind the (stratigraphic) gap: Roman dredging in ancient Mediterranean harbours, *Bollettino di Archeologia on line*, 1(Volume speciale B/B7/4), p. 23-32.
- Moriconi-Ebrard F., 2008, La localisation des résidences secondaires, littoralisation et creusement des vacuums, *Etudes foncières*, (131), p. 33-35.
- Morrow B. H., 1999, Identifying and mapping community vulnerability, *Disasters*, 23(1), p. 1-18. DOI:<https://doi-org/10.1111/1467-7717.00102>
- Moulinier H. et Poupard G., 2017, *Produire et résider sur le littoral en Bretagne!* Conseil économique, social et environnemental régional de Bretagne. https://ceser.bretagne.bzh/upload/docs/application/pdf/2017-05/ceser_bretagne_-_produire_et_resider_sur_le_littoral_en_bretagne__2017.pdf
- Mullins P., 1991, Tourism Urbanization, *International Journal of Urban and Regional Research*, 15(3), p. 326-342. DOI:10.1111/j.1468-2427.1991.tb00642.x
- Munroe D. K., Croissant C. et York A. M., 2005, Land use policy and landscape fragmentation in an urbanizing region: Assessing the impact of zoning, *Applied Geography*, 25(2), p. 121-141. DOI:10.1016/j.apgeog.2005.03.004
- Nageswara Rao K., Subraelu P., Venkateswara Rao T., Hema Malini B., Ratheesh R., Bhattacharya S., Rajawat A. S., et Ajai, 2008, Sea-level rise and coastal vulnerability: an assessment of Andhra Pradesh coast, India through remote sensing and GIS, *Journal of Coastal Conservation*, 12(4), p. 195-207. DOI:10.1007/s11852-009-0042-2
- Nakhli S., 2010, Pressions environnementales et nouvelles stratégies de gestion sur le littoral marocain, *Méditerranée*, (115), p. 33-42. DOI:10.4000/mediterranee.4996
- Naulin J. P., Moncoulon D., Le Roy S., Pedreros R., Idier D. et Oliveros C., 2016, Estimation of insurance-related losses resulting from coastal flooding in France, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(1), p. 195-207. DOI:10.5194/nhess-16-195-2016
- Neumann B., Vafeidis A. T., Zimmermann J. et Nicholls R. J., 2015, Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment, *PLOS ONE*, 10(3), p. e0118571. DOI:10.1371/journal.pone.0118571
- Nguyen T. T. X., Bonetti J., Rogers K. et Woodroffe C. D., 2016, Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices, *Ocean & Coastal Management*, 123, p. 18-43. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2015.11.022
- Nicholls R., 2011, Planning for the Impacts of Sea Level Rise, *Oceanography*, 24(2), p. 144-157. DOI:10.5670/oceanog.2011.34
- Noin D., 1999, La population des littoraux du monde, *L'information géographique*, 63(2), p. 65-73. DOI:10.3406/ingeo.1999.2632
- Nonn D., 1972, *Géographie des littoraux*. Presses Universitaires de France - PUF, 238 p.
- Norton R. K., 2005, More and better local planning: State-mandated local planning in coastal North Carolina, *Journal of the American Planning Association*, 71(1), p. 55-71, DOI:10.1080/01944360508976405
- Ollivier C., Spiegelberger T. et Gaucherand S., 2020, La territorialisation de la séquence ERC : quels enjeux liés au changement d'échelle spatiale? *Sciences Eaux & Territoires*, Numéro 31(1), p. 50-55, DOI:10.14758/SET-REVUE.2020.1.10
- Ollivro J., 2000, *Bretagne, 150 ans de démographie*. Rennes, PUR, 368 p.
- Ong J. M., Jamero Ma. L., Esteban M., Honda R. et Onuki M., 2016, Challenges in Build-Back-Better Housing Reconstruction Programs for Coastal Disaster Management: Case of Tacloban City, Philippines, *Coastal Engineering Journal*, 58(01), p. 1640010. DOI:10.1142/S0578563416400106
- Onsted J. A. et Chowdhury R. R., 2014, Does zoning matter? A comparative analysis of landscape change in Redland, Florida using cellular automata, *Landscape and Urban Planning*, 121, p. 1-18. DOI:10.1016/j.landurbplan.2013.09.007

- Openshaw S., 1981, Le problème de l'agrégation spatiale en géographie, *Espace géographique*, 10(1), p. 15-24. DOI:10.3406/spgeo.1981.3599
- Pageaud D., 2011, *L'occupation des sols dans les départements d'outre-mer*. Commissariat Général au développement durable, SOES. <http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/LPS89.pdf>
- Pailler Y. et Nicolas C. (dir.), 2019, *Une maison sous les dunes : Beg ar Loued, Île Molène, Finistère: identité et adaptation des groupes humains en mer d'Iroise entre les III^e et II^e millénaires avant notre ère*. Leiden, Sidestone Press, 733 p.
- Papathoma-Köhle M., Promper C. et Glade T., 2016, A Common Methodology for Risk Assessment and Mapping of Climate Change Related Hazards—Implications for Climate Change Adaptation Policies, *Climate*, 4(1), p. 8. DOI:10.3390/cli4010008
- Parcerisas L., Marull J., Pino J., Tello E., Coll F. et Basnou C., 2012, Land use changes, landscape ecology and their socioeconomic driving forces in the Spanish Mediterranean coast (El Maresme County, 1850–2005), *Environmental Science & Policy*, 23, p. 120-132. DOI:10.1016/j.envsci.2012.08.002
- Park G. et Xu Z., 2020, Spatial and Temporal Dynamics of Social Vulnerability in the United States from 1970 to 2010: A County Trajectory Analysis, *International Journal of Applied Geospatial Research*, 11(1), p. 36-54. DOI:10.4018/IJAGR.2020010103
- Parker D. C., Manson S. M., Janssen M. A., Hoffmann M. J. et Deadman P., 2003, Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review, *Annals of the Association of American Geographers*, 93(2), p. 314-337.
- Paskoff R., 1992, *Côtes en danger*. Paris, L'Harmattan, 250 p.
- Paskoff R., 2001, *L'élévation du niveau de la mer et les espaces côtiers*. Paris, Institut Océanographique, coll. Propos, 190 p.
- Paskoff R., 2010, *Les littoraux : impact des aménagements sur leur évolution*³. Paris, A. Colin, 260 p.
- Patino J. E. et Duque J. C., 2013, A review of regional science applications of satellite remote sensing in urban settings, *Computers, Environment and Urban Systems*, 37, p. 1-17. DOI:10.1016/j.compenvurbsys.2012.06.003
- Paül V. et Tonts M., 2005, Containing Urban Sprawl: Trends in Land Use and Spatial Planning in the Metropolitan Region of Barcelona, *Journal of Environmental Planning and Management*, 48(1), p. 7-35. DOI:10.1080/0964056042000308139
- Paulus F., 2007, Trajectoires économiques des villes françaises entre 1962 et 1999, in Mattei M.-F. et Pumain D. (dir.), *Données urbaines*, vol. 5. Anthropos : Diffusion Economica, p.211-223.
- Paulus F. et Pumain D., 2000, Trajectoire de villes dans le système urbain, in Mattei M.-F. et Pumain D. (dir.), *Données urbaines*, vol. 3. Anthropos : Diffusion Economica, p.363-372.
- Pébayle R., 1983, Mangrove et éthologie humaine au Brésil, *Bulletin de l'Association de géographes français*, 60(496), p. 233-246. DOI:10.3406/bagf.1983.5418
- Peduzzi P., Dao H., Herold C. et Mouton F., 2009, Assessing global exposure and vulnerability towards natural hazards: the Disaster Risk Index, *Natural Hazards and Earth System Science*, 9(4), p. 1149-1159. DOI:10.5194/nhess-9-1149-2009
- Pendleton E. A., Thieler E. R., Williams S. J. et Beavers R. S., 2004, *Coastal Vulnerability Assessment of Padre Island National Seashore to Sea-Level Rise*, USGS Open-File Report, <https://pubs.usgs.gov/of/2004/1090/>
- Perrin C., 2013a, Entre terre et mer, enjeux de définition, de délimitation et de représentation du littoral méditerranéen., in Perrin C., *Un littoral sans nature ? L'avenir de la Méditerranée face à l'urbanisation*. Rome, École française de Rome, p.9-17.
- Perrin C. (dir.), 2013b, *Un littoral sans nature ? L'avenir de la Méditerranée face à l'urbanisation*. Rome, École française de Rome, 349 p.
- Perrotte R., 1986, A review of coastal zone mapping, *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, 23(1-2), p. 3-74. DOI:10.3138/81LM-4Q67-1U33-66U5

- Peuziat I., 2005, 1 janvier, *Plaisance et environnement. Pratiques, représentations et impacts de la fréquentation nautique de loisir dans les espaces insulaires. Le cas de l'archipel de Glénan (France)*, Thèse de doctorat de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00403932>
- Pichereau V., Laurent J., Borcier E. et Laroche J., 2021, *Rapport final sur le Projet POPEST. Marqueurs de vulnérabilité de populations de flet identifiés par la protéo-génomique : de nouveaux outils pour estimer l'état écologique des systèmes estuariens*. Brest : LEMAR, IUEM-UBO, OFB.
- Pinot, J.-P., 1993. L'évolution des fonds de pêche bigoudens depuis le début du XXème siècle., in: Piirou N., Cléac'h A., Bodéré, J.-C., *Le Pays Bigouden à la croisée des chemins*. Association de Promotion du Pays Bigouden et du Cap Sizun, UBO, pp. 287-293.
- Pinot J.-P., 1998, *La gestion du littoral*, vol. 1 - littoraux tempérés, côtes rocheuses et sableuses. Paris, Institut océanographique, 399 p.
- Pirazzoli P. A., 1993, *Les littoraux : leur évolution*. Paris, Nathan Université, 191 p.
- Poinsot Y., 2008, *Comment l'agriculture fabrique ses paysages, un regard géographique sur l'évolution des campagnes d'Europe, des Andes et d'Afrique noire*. Karthala, 243 p.
- Poisvert C., Curie F. et Moatar F., 2017, Annual agricultural N surplus in France over a 70-year period, *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 107(1), p. 63-78. DOI:10.1007/s10705-016-9814-x
- Pontee N., 2013, Defining coastal squeeze: A discussion, *Ocean & Coastal Management*, 84, p. 204-207. DOI:10.1016/j.ocecoaman.2013.07.010
- Pornon H., 1990, *Systèmes d'information géographique, des concepts aux réalisations*, éd. Serv. Tech. de l'Urbanisme. Paris, Hermès, 108 p.
- Portman M. E., 2012, Losing Ground: Mediterranean Shoreline Change from an Environmental Justice Perspective, *Coastal Management*, 40(4), p. 421-441. DOI:10.1080/08920753.2012.692307
- Potter, R.B., 1993. Urbanization in the Caribbean and Trends of Global Convergence-Divergence. *The Geographical Journal* 159, 1-21. <https://doi.org/10.2307/3451485>
- Pottier P. et Robin M., 1993, Nouveaux outils au service de la connaissance des territoires ; méthodologie et résultat sur le thème sensible de l'urbanisation littorale, *Cahiers nantais*, (40), p. 31-45.
- Pottier P. et Robin M., 1997, L'île d'Yeu un espace convoité : développement et aménagement, *Mappemonde*, (1/1997), p. 18-23.
- Poupard G., 2017, L'urbanisation du littoral : un essoufflement ? L'exemple de la Bretagne, *Population & Avenir*, 733(3), p. 4-8. DOI:10.3917/popav.733.0004
- Poussin J.-C., 1987, Notions de système et de modèle, *Cahiers des Sciences Humaines*, 23(3-4), p. 439-441.
- Pouyanne G., 2014, Théorie économique de la ville discontinue, *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, (2014/4), p. 587-611. DOI:10.3917/reru.144.0587
- Préfecture de la Loire-Atlantique, 2012, Atlas des zones inondables (AZI) de Loire-Atlantique. <http://www.loire-atlantique.gouv.fr/Politiques-publiques/Risques-naturels-et-technologiques/Prevention-des-risques-naturels/Atlas-des-zones-inondables>
- Prelorenzo C. et Rodrigues-Malta R., 2011, La ville portuaire, un nouveau regard : évolutions et mutations, *Rives méditerranéennes*, (39), p. 13-22. DOI:10.4000/rives.4036
- Preston B. L., Yuen E. J. et Westaway R. M., 2011, Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks, *Sustainability Science*, 6(2), p. 177-202. DOI:10.1007/s11625-011-0129-1
- Prévost A. et Robert S., 2016, Local spatial planning practices in four French Mediterranean coastal territories under pressure, *Land Use Policy*, 56, p. 68-80. DOI:10.1016/j.landusepol.2016.04.034
- Prieur L., 2005, *La loi littoral*. Voiron, Éd. Techni.cités, 164 p.
- Provansal, M., Morhange, C., Vella, C., 1995. Impacts anthropiques et contraintes naturelles sur les sites portuaires antiques de Marseille et de Fos. Acquis méthodologiques. *Méditerranée* 82, 93-100. <https://doi.org/10.3406/medit.1995.2906>

- Puissant A. et Weber C., 2004, Démarche orientée “objets-attributs” et classification d’images THRS, », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, (173-174), p. 123-134.
- Pumain D., 1998, La géographie saurait-elle inventer le futur ? *Revue européenne des sciences sociales*, 36(110), p. 53-69.
- Pumain D., 2003, Une approche de la complexité en géographie, *Géocarrefour*, 78(1), p. 25-31. DOI:10.4000/geocarrefour.75
- Quillet E., Meur-Ferec C., Chauveau É. et Philippe M., 2019, Contribution à la mise en place d’indicateurs de suivi de la gestion des risques côtiers en France Métropolitaine : vers un observatoire intégré des risques d’érosion submersion, *Norois*, (250), p. 81-99. DOI:10.4000/norois.7417
- Rakotomalala R., 2013, *Pratique de la régression logistique - régression logistique binaire et polytomique*. Lyon : Université de Lyon 2. http://eric.univ-lyon2.fr/~ricco/cours/cours/pratique_regression_logistique.pdf
- Ramesh R., Chen Z., Cummins V., Day J., D’Elia C., Dennison B., Forbes D. L., Glaeser B., Glaser M., Glavovic B., Kremer H., Lange M., Larsen J. N., Le Tissier M., Newton A., Pelling M., Purvaja R. et Wolanski E., 2015, Land–Ocean Interactions in the Coastal Zone: Past, present and future, *Anthropocene*, 12, p. 85-98. DOI:10.1016/j.ancene.2016.01.005
- Reghezza-Zitt M., 2012, *Paris coule-t-il ?* Paris, Fayard, 318 p.
- Rego L. F. G. et Koch B., 2003, *Automatic classification of land cover with high resolution data of the Rio de Janeiro City Brazil*, Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas. 2nd GRSS/ISPRS Joint Workshop on, Berlin, Germany. DOI:10.1109/DFUA.2003.1219981
- Renard J., 1984, Le tourisme : agent conflictuel de l’utilisation de l’espace littoral en France, *Norois*, 121(1), p. 45-61. DOI:10.3406/noroi.1984.7362
- Renard M., 2016, Enjeux fonciers de la relocalisation des activités et des biens menacés par des risques littoraux, *Sciences Eaux & Territoires*, Numéro 19(2), p. 50-55. DOI:10.3917/set.019.0050
- Reux S., 2017, Trajectoires résidentielles et morphologiques des franges périurbaines : une méthode appliquée au Limousin, *Cybergeo*, (article 810). DOI:10.4000/cybergeo.27985
- Ricketts P. J., 1992, Current approaches in Geographic Information Systems for coastal management, *Marine Pollution Bulletin*, 25(1-4), p. 82-87. DOI:10.1016/0025-326X(92)90192-9
- Rivas V. et Cendrero A., 1991, Use of natural and artificial accretion on the north coast of Spain: Historical trends and assessment of some environmental and economic consequences., *Journal of Coastal Research*, 7(2), p. 491-507.
- 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 de géographie, Université de Nice Sophia-Antipolis. <http://halshs.archives-ouvertes.fr/tel-00442279/>
- Robert S., 2016, Entre étalement et densification : une approche fine de l’urbanisation littorale sur la Côte bleue, Provence, *Cybergeo*. DOI:10.4000/cybergeo.27451
- Robert S., 2019, *L’urbanisation du littoral : espaces, paysages et représentations. Des territoires à l’interface ville-mer*, Habilitation à diriger des recherches, Université de Bretagne Occidentale, Brest, <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-02350064>
- Robert S. et Melin H. (dir.), 2016, *Habiter le littoral, enjeux contemporains*. Marseille, Presses Universitaires de Provence et Presses universitaires d’Aix-Marseille, 471 p.
- Robin M., 1995, *La télédétection*, ed. Nathan, 318 p.
- Robin M. et Gourmelon F., 2005, La télédétection et les SIG dans les espaces côtiers. Eléments de synthèse à travers le parcours de François Cuq, *Norois*, (196), p. 11-21. DOI:10.4000/norois.368
- Robin M. et Verger F., 1996, Pendant la protection, l’urbanisation continue, *Les Ateliers du Conservatoire du littoral*, Les Annales 96(13), p. 74-98.
- Rogers J. D., 2008, Development of the New Orleans Flood Protection System prior to Hurricane Katrina, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 134(5), p. 602-617. DOI:10.1061/(ASCE)1090-0241(2008)134:5(602)

- Rollo, N., 2012. Modélisation des dynamiques de pollution diffuse dans le bassin versant de la rivière d'Auray : quantification, caractérisation et gestion des apports nutritifs terrigènes., Thèse de Géographie, Université de Nantes, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00697867>
- Rosen S., 1974, Hedonic Prices and Implicit Markets: Product Differentiation in Pure Competition, *Journal of Political Economy*, 82(1), p. 34-55. DOI:10.1086/260169
- Rougerie G. et Beroutchachvili N., 1991, *Géosystèmes et paysages, bilans et méthodes*. Paris, Armand Colin, 302 p.
- Rousseaux F., 2009, Une méthode d'analyse pour mesurer l'impact des documents d'urbanisme sur la maîtrise de l'étalement urbain : l'exemple de La Rochelle, France, *VertigO*, 9(2). DOI:10.4000/vertigo.8682
- Rousseaux F., 2010, La mesure de l'étalement urbain avec le plan cadastral informatisé, méthode et limites. <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00679866/>
- Rousseaux F., Long N. et Renouard A., 2011, Vers une simulation de l'évolution des structures urbaines à partir d'une modélisation multi-agents, *VertigO*, 11(3). DOI:10.4000/vertigo.11561
- Rouxel M., Laurent L. et INSEE, 2013, Un siècle et demi de recomposition spatiale de la Bretagne, *Octant*, (79), p. 25-30.
- Runfola D. M., Ratick S., Blue J., Machado E., Hiremath N., Giner N., White K. et Arnold J., 2017, A multi-criteria geographic information systems approach for the measurement of vulnerability to climate change, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 22(3), p. 349-368. DOI:10.1007/s11027-015-9674-8
- Salman A., Lombardo S. et Doody J. P., 2004, *Vivre avec l'érosion côtière en Europe : Espaces et sédiments pour un développement durable*. EuroSION, Direction générale de l'Environnement (Commission européenne). http://www.euroSION.org/reports-online/part1_fr.pdf
- Salvati L., Munafo M., Morelli V. G. et Sabbi A., 2012, Low-density settlements and land use changes in a Mediterranean urban region, *Landscape and Urban Planning*, 105(1-2), p. 43-52. DOI:10.1016/j.landurbplan.2011.11.020
- Scoppetta C., 2016, « Natural » disasters as (neo-liberal) opportunity? Discussing post-hurricane Katrina urban regeneration in New Orleans, *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, p. 25-41, DOI:10.6092/1970-9870/3725
- Shackleton C. M., Ruwanza S., Sinasson Sanni G. K., Bennett S., De Lacy P., Modipa R., Mtati N., Sachikonye M. et Thondhlana G., 2016, Unpacking Pandora's Box: Understanding and Categorising Ecosystem Disservices for Environmental Management and Human Wellbeing, *Ecosystems*, 19(4), p. 587-600. DOI:10.1007/s10021-015-9952-z
- Shaw J., Taylor R. B., Forbes D. L., Ruz M. H. et Solomon S., 1998, *Sensitivity of the coasts of Canada to sea-level rise*. DOI:10.4095/210075
- Shepard C. C., Agostini V. N., Gilmer B., Allen T., Stone J., Brooks W. et Beck M. W., 2012, Assessing future risk: quantifying the effects of sea level rise on storm surge risk for the southern shores of Long Island, New York, *Natural Hazards*, (60), p. 727-745. DOI:10.1007/s11069-011-0046-8
- Sherly M. A., Karmakar S., Parthasarathy D., Chan T. et Rau C., 2015, Disaster Vulnerability Mapping for a Densely Populated Coastal Urban Area: An Application to Mumbai, India, *Annals of the Association of American Geographers*, 105(6), p. 1198-1220. DOI:10.1080/00045608.2015.1072792
- Simeoni, U., Corbau, C., 2009. A review of the Delta Po evolution (Italy) related to climatic changes and human impacts. *Geomorphology* 107, 64–71. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.11.004>
- Singh G. G., Eddy I. M. S., Halpern B. S., Neslo R., Satterfield T. et Chan K. M. A., 2020, Mapping cumulative impacts to coastal ecosystem services in British Columbia, *PLOS ONE*, 15(5), DOI:10.1371/journal.pone.0220092
- Smith A. W. S., 1995, Beaches and tourism. An example of the result of a dramatic beach erosion episode: Gold Coast, Queensland, Australia., *Shore and Beach*, (3), p. 7-8.
- Sohl T. L. et Sohl L. B., 2012, Land-Use Change in the Atlantic Coastal Pine Barrens Ecoregions, *Geographical Review*, 102(2), p. 180-201. DOI:10.1111/j.1931-0846.2012.00142.x
- Sonter L. J., Barrett D. J., Moran C. J. et Soares-Filho B. S., 2015, A Land System Science meta-analysis suggests we underestimate intensive land uses in land use change dynamics, *Journal of Land Use Science*, 10(2), p. 191-204. DOI:10.1080/1747423X.2013.871356

- Soulard B., 1990, La ressource en eau et son aménagement en Bretagne, *Penn ar Bed*, (137, spécial qualité de l'eau en Bretagne), p. 15-28.
- Sparfel L., 2011, *Étude des changements d'occupation des sols dans la zone côtière à partir de données hétérogènes : application au Pays de Brest*, Thèse de doctorat de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, <http://www.theses.fr/2011BRES1008/document>
- Sparfel L., Gourmelon F. et Le Berre I., 2008, Approche orientée objet de l'occupation des sols en zone côtière, *Téléédétection*, 8(4), p. 237-256, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00559730>
- Sparfel L., Le Berre I. et Gourmelon F., 2011, Evaluation des changements d'occupation des sols en zone côtière à partir de données hétérogènes, *Revue internationale de géomatique*, 21(3), p. 381-403. DOI:10.3166/ri.15.381-403
- Spiegelberger T., Bergeret A., Crouzat É., Tschanz L., Piazza-Morel D., Brun J.-J., Baud D. et Lavorel S., 2018, Construction interdisciplinaire d'une trajectoire socio-écologique de vulnérabilité à l'exemple du territoire des Quatre Montagnes (Isère, France) de 1950 à 2016, *Revue de géographie alpine*, (106-3). DOI:10.4000/rga.5008
- Stanley, D.J., Warne, A.G., 1993. Nile Delta: Recent Geological Evolution and Human Impact. *Science* (260), 628–634. <https://doi.org/10.1126/science.260.5108.628>
- Steinberg J., 1993, Le rôle de la cartographie dans la gestion des risques technologiques en milieu urbain, *Annales de Géographie*, 570, p. 176-181.
- Stéphan P., Blaise E., Suanez S., Fichaut B., Autret R., Floc'h F., Cuq V., Le Dantec N., Ammann J., David L., Jaud M. et Delacourt C., 2019, Long, Medium, and Short-term Shoreline Dynamics of the Brittany Coast (Western France), *Journal of Coastal Research*, 88(sp1), p. 89. DOI:10.2112/SI88-008.1
- Subra P., 1999, Les ports du Range nord-européen, entre concurrence, mondialisation et luttes environnementales, *Hérodote*, (93), p. 106-133.
- Swetnam R. D., 2007, Rural land use in England and Wales between 1930 and 1998: Mapping trajectories of change with a high resolution spatio-temporal dataset, *Landscape and Urban Planning*, 81(1-2), p. 91-103. DOI:10.1016/j.landurbplan.2006.10.013
- Syvitski J. P. M., 2005, Impact of Humans on the Flux of Terrestrial Sediment to the Global Coastal Ocean, *Science*, 308(5720), p. 376-380. DOI:10.1126/science.1109454
- Syvitski J.P. M., Kettner A. J., Overeem I., Hutton E. W. H., Hannon M. T., Brakenridge G. R., Day J., Vörösmarty C., Saito Y., Giosan L. et Nicholls R. J., 2009, Sinking deltas due to human activities, *Nature Geoscience*, 2(10), p. 681-686. DOI:10.1038/ngeo629
- Bernardie-Tahir, N., El-Mahaboubi, O., 2001. Mayotte : des parfums au tourisme. Les nouveaux enjeux du littoral. *Les Cahiers d'Outre-Mer*, 54, 369–396. <https://doi.org/10.4000/com.1137>
- Tarlet J., 1985, *La planification écologique, méthodes et techniques*. Paris, Economica, 213 p.
- Thériault M., Carrier M., Véronneau É. et Dieumegarde L., 2007, *Innovation Processes in the Manufacturing Industry Modelling Trajectories and Social Networks within GIS*. Conférence AGILE 2007, http://www.agile-online.org/conference_paper/cds/agile_2007/proc/pdf/136_pdf.pdf
- Thériault M., Le Berre I., Dubé J., Maulpoix A. et Vandersmissen M.-H., 2020, The effects of land use planning on housing spread: A case study in the region of Brest, France, *Land Use Policy*, 92, p. 104428. DOI:10.1016/j.landusepol.2019.104428
- Thériault M., Rosiers F. D. et Joerin F., 2005, Modelling accessibility to urban services using fuzzy logic: A comparative analysis of two methods, *Journal of Property Investment & Finance*, 23(1), p. 22-54. DOI:10.1108/14635780510575085
- Thériault M., Rosiers F. D., Villeneuve P. et Kestens Y., 2003, Modelling interactions of location with specific value of housing attributes, *Property Management*, 21(1), p. 25-62. DOI:10.1108/02637470310464472
- Thériault M., Sparfel L., Gourmelon F. et Le Berre I., 2011, Modélisation des changements d'occupation et d'utilisation du sol. Cadres formels et exemple d'application, *Revue internationale de géomatique*, 21(3), p. 267-295. DOI:10.3166/ri.15.267-295
- Thériault M., Vandersmissen M.-H., Lee-Gosselin M. et Leroux D., 1999, Modelling Travel Route and Time within GIS: Its Use for Planning, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, 3(1), p. 41-55.

- Thiébaux P., 2008, *Essentiel de la géomatique, Glossaire*. CERTU/Pôle géomatique du ministère. https://tice.agroparistech.fr/coursenligne/courses/M99BACASABLE/scorm/M1_Introduction_scorm1.2_Aurora_161116/res/Glossaire.pdf
- Thieler E. R. et Hammer-Klose E. S., 1999, National Assessment of Coastal Vulnerability To Sea-Level Rise, Project Page, *USGS*. <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/cvi/>
- Thornton, S.E., Pilkey, O.H., Doyle, L.J., Whaling, P.J., 1980. Holocene evolution of a coastal lagoon, Lake of Tunis, Tunisia. *Sedimentology* 27, 79–91. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1980.tb01159.x>
- Thumerelle P.-J., 1998, Les hommes sur les littoraux, l'attrait de la mer sur le peuplement, in Gamblin A. (dir.), *Les littoraux espaces de vies*, vol. 23. SEDES, p.11-18.
- Thywissen K., 2006, *Components of risk: a comparative glossary*. Bonn, United Nations University Institute for Environment and Human Security, 48 p.
- Tiebout C. M., 1956, A Pure Theory of Local Expenditures, *Journal of Political Economy*, 64(5), p. 416-424.
- Tissot C., 2003, *Modélisation spatio-temporelle d'activités humaines à fort impact environnemental : Application à l'étude des pratiques agricoles intensives dans le département du Finistère*, Thèse de doctorat de Géographie, Université de Bretagne Occidentale, <http://www.theses.fr/2003BRES1006>
- Tissot C., 2018, septembre, *Modélisation du déroulement d'activités anthropiques sous contraintes spatio-temporelles* Habilitation à diriger des recherches, Université de Bretagne Occidentale, <https://hal.archives-ouvertes.fr/tel-01960495>
- Tobler W., 1970, A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region, *Economic Geography*, 46, p. 234. DOI:10.2307/143141
- Tobler W., 2004, On the first law of geography: A reply, *Annals of the Association of American Geographers*, 94(2), p. 304-310, DOI:10.1111/j.1467-8306.2004.09402009.x
- Torrens P. M., 2008, A Toolkit for Measuring Sprawl, *Applied Spatial Analysis and Policy*, 1(1), p. 5-36. DOI:10.1007/s12061-008-9000-x
- Tortell P., 1992, Coastal zone sensitivity mapping and its role in marine environmental management, *Marine Pollution Bulletin*, 25(1-4), p. 88-93.
- Towner J., 1996, *An historical geography of recreation and tourism in the western world, 1540-1940*. Chichester ; New York, John Wiley, 312 p.
- Townshend J. R. G., Huang C., Kalluri S. N. V., Defries R. S., Liang S. et Yang K., 2000, Beware of per-pixel characterization of land cover, *International Journal of Remote Sensing*, 21(4), p. 839-843. DOI:10.1080/014311600210641
- Tricart J. et Kilian J., 1979, *L'écogéographie et l'aménagement du milieu naturel*. Paris, Maspero, 326 p., <https://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k4802104b/f46.double>
- Tumini I., Villagra-Islas P. et Herrmann-Luncke G., 2017, Evaluating reconstruction effects on urban resilience: a comparison between two Chilean tsunami-prone cities, *Natural Hazards*, 85(3), p. 1363-1392. DOI:10.1007/s11069-016-2630-4
- Turner B. L., 2017, Land Change Science, in Richardson D., Castree N., Goodchild M. F., Kobayashi A., Liu W. et Marston R. A. (dir.), *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*. Oxford, UK, John Wiley & Sons, Ltd, p.1-6. DOI:10.1002/9781118786352.wbieg0192
- Turner B. L., Kasperson R. E., Matson P. A., McCarthy J. J., Corell R. W., Christensen L., Eckley N., Kasperson J. X., Luers A., Martello M. L., Polsky C., Pulsipher A. et Schiller A., 2003, A framework for vulnerability analysis in sustainability science, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(14), p. 8074-8079. DOI:10.1073/pnas.1231335100
- Turner B. L., Lambin E. F. et Reenberg A., 2007, The emergence of land change science for global environmental change and sustainability, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), p. 20666-20671.
- Turner B. L., Meyer W. B. et Skole D. L., 1994, Global Land-Use/Land-Cover Change: Towards an Integrated Study, *Ambio*, 23(1), p. 91-95.

- Turner R. K., Subak S. et Adger W. N., 1996, Pressures, trends, and impacts in coastal zones: Interactions between socioeconomic and natural systems, *Environmental Management*, 20(2), p. 159-173. DOI:10.1007/BF01204001
- Turok I. et Mykhnenko V., 2007, The trajectories of European cities, 1960–2005, *Cities*, 24(3), p. 165-182. DOI:10.1016/j.cities.2007.01.007
- Ullmann E. L., 1954, Amenities as Factor of Regional Growth, *Geographical Review*, 44, p. 119-132.
- Valiela I. et Bowen J. L., 2002, Nitrogen sources to watersheds and estuaries: role of land cover mosaics and losses within watersheds, *Environmental Pollution*, 118(2), p. 239-248. DOI:10.1016/S0269-7491(01)00316-5
- Vallega A., 1999, *Fundamentals of integrated coastal management*. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers, 267 p. <http://dx.doi.org/10.1007/978-94-017-1640-6>
- Vallega A., 2001, Urban waterfront facing integrated coastal management, *Ocean & Coastal Management*, 44(5), p. 379-410, [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(01\)00056-4](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(01)00056-4)
- Vallega A., 2005, From Rio to Johannesburg: The role of coastal GIS, *Ocean and Coastal Management*, 48(7-8), p. 588-618, DOI:10.1016/j.ocecoaman.2005.05.001
- Van Dolah R. F., Riekerk G. H. M., Bergquist D. C., Felber J., Chestnut D. E. et Holland A. F., 2008, Estuarine habitat quality reflects urbanization at large spatial scales in South Carolina's coastal zone, *Science of The Total Environment*, 390(1), p. 142-154. DOI:10.1016/j.scitotenv.2007.09.036
- Vandersmissen M.-H., Séguin A.-M., Thériault M. et Claramunt C., 2009, Modeling propensity to move after job change using event history analysis and temporal GIS, *Journal of Geographical Systems*, 11(1), p. 37-65. DOI:10.1007/s10109-009-0076-x
- Verger F., 2005, *Marais maritimes et estuaires du littoral français*. Paris, Belin, 335 p.
- Verger F., 2010, Les débuts de la télédétection spatiale dans la géographie française : témoignage d'un pionnier, *L'Information géographique*, 74(2), p. 45. DOI:10.3917/lig.742.0045
- Verlaque C., 1975, *Géographie des transports maritimes*. Paris, Doin, 437 p.
- Vimal R., Geniaux G., Pluvinet P., Napoléone C. et Lepart J., 2012, Detecting threatened biodiversity by urbanization at regional and local scales using an urban sprawl simulation approach: Application on the French Mediterranean region, *Landscape and Urban Planning*, 104(3-4), p. 343-355. DOI:10.1016/j.landurbplan.2011.11.003
- Vincent J., 2006, De la répulsion à la spéculation. La transformation du foncier littoral en Bretagne-Sud et en Vendée (1800-1939), *Annales de Bretagne et des Pays de l'Ouest. Anjou. Maine. Poitou-Charente. Touraine*, (113-4), p. 35-48. DOI:10.4000/abpo.535
- Vinet F., Boissier L. et Saint-Martin C., 2016, Flashflood-related mortality in southern France: first results from a new database, *E3S Web of Conferences*, 7, p. 06001. DOI:10.1051/e3sconf/20160706001
- Vinet F., Defossez S., Rey T. et Boissier L., 2012, Le processus de production du risque « submersion marine » en zone littorale : l'exemple des territoires « Xynthia », *Norois*, 222(2012-1, Xynthia, regards de la géographie, du droit et de l'his), p. 11-26, <https://doi.org/10.4000/norois.3834>
- Vitousek P. M., Mooney H. A., Lubchenco J. et Melillo J. M., 1997, Human Domination of Earth's Ecosystems, *Science*, 277(5325), p. 494-499. DOI:10.1126/science.277.5325.494
- Vitter M., 2018, *mars, Cartographier l'occupation du sol à grande échelle : optimisation de la photo-interprétation par segmentation d'image*. Thèse de Géographie, Université de Lyon, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-02094240>
- Voiron-Canicio C., 2007, Modélisation spatio-morphologique de l'urbanisation du littoral languedocien, p. 15, <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00130991/>
- Voiron-Canicio C., 2012, L'anticipation du changement en prospective et des changements spatiaux en géoprospective, *L'Espace géographique*, 41(2), p. 99-110. DOI:10.3917/eg.412.0099
- Voiron-Canicio C. et Liziard S., 2008, *Interactions between coastal urban dynamics and agricultural areas of the Côte d'Azur : stakes and processes.*, LITTORAL 2008 9th International Conference "A changing coast: challenge for the environmental policies Venice, Italy, <https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00411799>

- Voiron-Canicio, C., Garbolino, E., Fusco, G., Loubier, J.-C., 2021. Methods and tools in geoproerspective, in: Garbolino, E., Voiron-Canicio, C. (Eds.), *Ecosystem and Territorial Resilience: A Geoproerspective Approach*. Elsevier, Amsterdam, pp. 85–122.
- Voiron-Canicio C., Liziard S., Decoupigny F., Ormon A., Roussel D. et Séry R., 2016, Anticiper la diffusion de l'habitat et région littorale. Pression urbaine et espaces à enjeux, in Robert S. et Melin (dir.), *Habiter le littoral, enjeux contemporains*. Marseille, Presses Universitaires de Provence et Presses universitaires d'Aix-Marseille, p.431-445.
- Vörösmarty C. J., Meybeck M., Fekete B., Sharma K., Green P. et Syvitski J. P. M., 2003, Anthropogenic sediment retention: major global impact from registered river impoundments, *Global and Planetary Change*, 39(1-2), p. 169-190. DOI:10.1016/S0921-8181(03)00023-7
- Vye D., 2011, « La Ruée vers l'Ouest ? »: Une analyse de l'attraction résidentielle du littoral atlantique à partir du recensement, *Espace populations sociétés*, (2011/3), p. 603-616. DOI:10.4000/eps.4753
- Wackermann G. (dir.), 2005, *Dictionnaire de Géographie*. Paris, Ellipses, 432 p.
- Wagret P., 1959, *Les polders*. Paris, Dunod, 316 p.
- Walsh S. J., Riveros-Iregui D., Arce-Nazario J. et Page P. H., 2020, *Land cover and land use change on islands social & ecological threats to sustainability*. Cham, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-43973-6>
- Wang N., Brown D. G., An L., Yang S. et Ligmann-Zielinska A., 2013, Comparative performance of logistic regression and survival analysis for detecting spatial predictors of land-use change, *International Journal of Geographical Information Science*, 27(10), p. 1960-1982. DOI:10.1080/13658816.2013.779377
- Weber C. et Puissant A., 2003, Urbanization pressure and modeling of urban growth: example of the Tunis Metropolitan Area, *Remote Sensing of Environment*, 86(3), p. 341-352. DOI:[http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00077-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00077-4)
- Welle T., Beck M. W. et Birkmann J., 2014, *Coasts At Risk Index. An Assessment Of Coastal Risks and the Role of Environmental Solutions*. United Nations University - Institute for Environment and Human Security (UNU-EHS), The Nature Conservancy (TNC) and the Coastal Resources Center (CRC) University of Rhode Island Graduate School of Oceanography, p.5-23. http://www.crc.uri.edu/download/SUC09_CoastsatRisk.pdf.
- Willhauck G., 2000, Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos., *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII(Part B3), p. 214-221.
- Wilson A., 2001, Sydney Timemap: Integrating Historical Resources Using GIS, *History and Computing*, 13(1), p. 45-69. DOI:10.3366/hac.2001.13.1.45
- Wisner B., Blaikie P., Cannon T. et Davis I., 1994, *At Risk: Natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Abingdon, UK, Taylor & Francis. DOI:10.4324/9780203428764
- Wolff W. J., 1992, The End of a Tradition: 1000 Years of Embankment and Reclamation of Wetlands in the Netherlands, *Ambio*, 21(4), p. 287-291.
- Zampella R. A., Procopio N. A., Lathrop R. G. et Dow C. L., 2007, Relationship of Land-Use/Land-Cover Patterns and Surface-Water Quality in The Mullica River Basin, *Journal of the American Water Resources Association*, 43(3), p. 594-604. DOI:10.1111/j.1752-1688.2007.00045.x
- Zaninetti J.-M., 2006, L'urbanisation du littoral en France, *Population & Avenir*, 677(677), p. 4-8. DOI:10.3917/popav.677.0004
- Zaninetti J.-M. et Andrieu D., 2018, L'étalement résidentiel des métropoles intermédiaires de la région Centre Val de Loire – Mappemonde, *Mappemonde*. <http://mappemonde.mgm.fr/124as3/>
- Zoppi C. et Lai S., 2014, Land-taking processes: An interpretive study concerning an Italian region, *Land Use Policy*, 36, p. 369-380. DOI:10.1016/j.landusepol.2013.09.011

Table des figures

Figure 1.1 : le littoral système d'interface (d'après Corlay, 2003).....	7
Figure 1.2 : Landerneau, et son célèbre pont habité	10
Figure 1.3 : La plage de Morgat et son Hôtel de la mer avant-guerre	12
Figure 1.4 : Éparpillement résidentiel et fragmentation du foncier agricole à Portsall, nord Finistère .	14
Figure 1.5 : La superposition des dispositifs de protection de l'environnement en Bretagne.....	17
Figure 1.6 : Le niveau de vie en Bretagne en 2015.	24
Figure 1.7 : Où est-ce ? Multiplication des pavillons « néo-bretons »,.....	25
Figure 1.8 : Démaigrissement de plage à Angoulins (Charente-Maritime, février 2009).....	27
Figure 1.9 : Dans le Haut-Léon, ici à Santec, l'agriculture résiste encore et toujours à l'envahissement urbain, mais son espace s'amenuise et se fractionne.....	29
Figure 2.1 : La couverture de L'éco-géographie prend exemple sur un littoral estuarien pour présenter les phénomènes de pollution en pays développé.....	33
Figure 2.2 : Changements d'usage du sol à l'échelle globale depuis 1700.	34
Figure 2.3 : le port de Co' à Brest, un type d'occupation du sol (« Zone industrielle et commerciale » selon l'IPLI2000), plusieurs usages : urbain, commercial, industriel, récréatif.....	36
Figure 2.4 : Cadre conceptuel des LCS.....	41
Figure 2.5 : Les limites de CORINE Land Cover 2018 et de l'IPLI2000 pour la restitution de l'urbanisation diffuse	48
Figure 2.6 : L'urbanisation littorale à Arzon commune du Golfe du Morbihan où le pourcentage de résidences secondaires atteint les 80 %	57
Figure 2.7 : Chacun sa vue sur mer ! Urbanisation diffuse à Kerlouan dans le Nord Finistère.	60
Figure 2.8 : Même lorsque la planification urbaine existe, la marqueterie d'occupation du sol, imbriquant terres agricoles et bâti, comme ici dans la zone maraîchère du Léon à Roscoff, rend difficile l'application de la Loi Littorale	64
Figure 2.9 : L'émergence d'un espace de risque découle des dynamiques à la fois naturelles et anthropiques qui affectent le littoral : érosion côtière et recul du trait de côte, puis fixation de celui-ci en lien avec la volonté d'urbanisation au plus proche du rivage.....	66
Figure 2.10 : Modélisation graphique des dynamiques d'occupation du littoral en France.....	69
Figure 2.11 : Occupation du sol en Bretagne en 2018.....	72
Figure 3.1 : Les intercommunalités du Pays de Brest sur fond SPOT5 (en 2010)	78
Figure 3.2 : Part des changements d'occupation du sol entre 1977 et 2003 dans le Pays de Brest.....	81
Figure 3.3 : Changements d'occupation du sol dans le Pays de Brest entre 1977 et 2003	82
Figure 3.4 : Changements d'occupation du littoral du Pays de Brest entre 1977 et 2003	83
Figure 4.1 : Toutes ces maisons ! Dans de nombreuses communes (ici Porspoder), il est difficile d'apprécier l'effet structurant de la réglementation sur l'urbanisation littorale.....	89
Figure 4.2 : Procédure d'intégration des données sur la construction résidentielle dans le référentiel cadastral.....	94
Figure 4.3 : Mises en construction résidentielle entre 1968 et 2008	96
Figure 4.4 : Évolution du statut du foncier littoral entre 1968 à 2009 dans le Pays de Brest en fonction de la planification urbaine.....	98
Figure 4.5 : Courbe de survie en fonction de la distance à la mer (200 < parcelles < 2000 m2).....	100
Figure 4.6 : Hypothèses de diffusion spatiale de l'urbanisation résidentielle	102

Figure 4.7 : Rapport des risques de développement de la densité résidentielle de 1983 à 2009 dans le Pays de Brest.....	105
Figure 5.1 : Localisation et caractéristiques de la zone d'étude	110
Figure 5.2 : Les quatre composantes de la vulnérabilité	117
Figure 5.3 : Principe de cotation (exemple de l'indicateur d'enjeu humain basé sur le nombre d'habitants par maille de 200 m).....	121
Figure 5.4 : Vue de la maille de 200 m employée pour ventiler les données utiles au calcul des indicateurs	122
Figure 5.5 : La transformation d'un polder agricole en une zone résidentielle dense : exemple de l'Île-Tudy, Pays bigouden, Sud-Finistère.....	123
Figure 5.6 : Méthodes d'agrégation des indicateurs.....	125
Figure 5.7 : Capture d'écran de l'interface Web-SIG d'OSIRISC.....	127
Figure 5.8 : Chaîne de traitement des données de l'application Web-SIG OSIRISC	128
Figure 5.9 : Exposition aux aléas d'érosion et de submersion marine	129
Figure 5.10 : Indice de composante enjeux	130
Figure 5.11 : Matrice de risque résultant du croisement des aléas observés (l'érosion) ou potentiels (zones basses submersibles) et des enjeux	132
Figure 5.12 : Exposition du littoral breton aux risques côtiers (érosion et submersion)	133
Figure 6.1 : Brest parmi les 20 destinations recommandées aux Américains pour investir dans l'immobilier en Europe selon le magazine américain Forbes (8-11-2020)	141
Figure 6.2 : Le jeu de lois de l'aménagement du territoire.....	150
Figure 6.3 : Trajectoire de deux variables reliant les états successifs du système de vulnérabilité.....	154
Figure 6.4 : La campagne d'affichage de FNE en 2011 contre les algues vertes en Bretagne.....	162
Figure 6.5 : Quelques méthodes d'analyse, de modélisation et de restitution de données spatiotemporelles	168

Liste des tableaux

Tableau 1.1 : Services environnementaux fournis par les habitats côtiers dans le monde	9
Tableau 1.2 : Types d'artificialisation spécifique au littoral	19
Tableau 1.3 : Impacts des activités humaines sur les systèmes littoraux.....	20
Tableau 2.1 : Information géographique de référence en lien avec l'occupation du sol	52
Tableau 4.1 : Facteurs exogènes déterminant l'urbanisation résidentielle	86
Tableau 4.2 : Variables décrivant les parcelles foncières du Pays de Brest (1968-2008)	95
Tableau 4.3 : Classement des variables déterminant l'urbanisation résidentielle par influence décroissante.....	97
Tableau 4.4 : Variables du modèle de survie.....	103
Tableau 5.1 : Exemples d'indices de vulnérabilité aux risques côtiers	114
Tableau 5.2 : Liste des indicateurs du projet OSIRISC, classée par composantes	120
Tableau 5.3 : exposition des enjeux aux risques côtiers	133
Tableau 5.4 : Exemple d'analyse de la vulnérabilité systémique à Locmariaquer, Morbihan.....	135
Tableau 6.1 : Chiffres clefs de la Bretagne, démographie et occupation du sol.....	139

Table des matières

Introduction	1
Partie 1 : Objet de la recherche	3
1. Contexte général : évolution et enjeux de l'occupation du littoral	4
1.1. Le littoral, un objet géographique complexe entre nature et société	4
1.2. Le littoral convoité : histoire et facteurs déterminants.....	8
1.2.1. Des ressources variées et attractives pour les sociétés humaines.....	8
1.2.2. Facteurs socio-économiques « modernes »	11
Urbanisation littorale et métropolisation	11
Maritimisation de l'économie mondiale et développement portuaire	11
Villégiature et tourisme	11
Choix résidentiel et urbanisation diffuse	13
1.2.3. Facteurs législatifs et réglementaires	13
Les règles du marché foncier ont longtemps dominé	14
La réglementation se met en place... ..	15
... Mais elle n'est pas toujours efficace	15
1.3. Conséquences : un quart des littoraux est artificialisé	18
1.3.1. Des aménagements spécifiques au littoral, mais pas seulement	18
1.3.2. Des impacts environnementaux multiscalaires.....	19
Impacts structuraux	19
Impacts écologiques	21
1.3.3. Impacts socio-économiques	22
Des tensions foncières sur un espace restreint	22
Relégation économique ou sociale	23
Un espace contraint : des rétroactions écologiques et paysagères	24
1.3.4. Risques découlant de l'occupation de milieux dynamiques... ..	26
1.4. L'occupation et l'usage du littoral comme objet de recherche.....	28
2. Positionnement scientifique	31
2.1. Cadre conceptuel	31
2.1.1. De la géographie littorale aux Land change sciences.....	31
2.1.2. Les sciences des changements d'occupation du sol.....	33
2.1.3. Occupation ou usage du sol ?	35
2.1.4. Facteurs déterminants les changements d'occupation et d'usage du littoral	36
2.1.5. Dialectique d'échelles.....	38
2.1.6. Occupation et usage du sol au cœur de systèmes en interaction	40
2.2. Méthodes et données pour l'étude des changements d'occupation et d'usage du littoral	41

2.2.1.	La télédétection, de l'hégémonie à la fusion de données.....	41
2.2.2.	SIG et analyse spatiale	43
2.2.3.	Quelles sources de données pour analyser les changements d'occupation et d'usage du littoral ?.....	46
	Les référentiels d'occupation du sol classiques CLC et IPLI.....	46
	Le RGE - Référentiel grande échelle de l'IGN	48
	Plan cadastral informatisé et fichiers fonciers	49
	Autres sources de données à grande échelle	50
2.3.	Les changements d'occupation et usage du littoral métropolitain au prisme de la géographie	52
2.3.1.	Affiner la cartographie de l'occupation du sol.....	53
2.3.2.	La littoralisation au cœur des dynamiques d'usage du littoral	55
2.3.3.	Le foncier comme indicateur des mutations sociospatiales du littoral.....	58
2.3.4.	De la pression foncière à la saturation du littoral ?	60
2.3.5.	Une réglementation inefficace face à l'urbanisation ?	62
2.3.6.	Adapter l'occupation du littoral aux risques côtiers	65
2.3.7.	Essai de synthèse graphique	68
2.4.	Positionnement de mes recherches	70
Partie 2 : Contribution à l'étude des changements d'occupation et d'usage du littoral.....		75
3.	Cartographie de l'occupation du littoral et de son évolution	76
3.1.	De la photo-interprétation à l'analyse orientée-objet	77
3.2.	Zone d'étude	77
3.3.	Méthodologie	79
3.4.	Les changements d'occupation du sol dans le Pays de Brest entre 1977 et 2003... 80	
3.5.	De l'observation des changements vers l'analyse de leurs causalités.....	83
4.	Analyse des facteurs déterminants : la modélisation de l'urbanisation résidentielle	85
4.1.	Cadre conceptuel de l'urbanisation résidentielle.....	85
4.1.1.	Facteurs déterminant l'urbanisation résidentielle	86
4.1.2.	La réglementation de l'urbanisation littorale : évolution et efficacité ?.....	88
4.1.3.	Tout évolue : comment analyser l'effet structurant de la réglementation ?... 90	
4.2.	Méthodologie	91
4.2.1.	Modélisation et changement d'occupation du sol	91
4.2.2.	L'approche foncière, une échelle pertinente pour analyser l'évolution du bâti 92	
4.2.3.	Construire une base de données décrivant l'urbanisation du littoral et son évolution.....	92
	Sources de données exploitées.....	93
	Élaboration de la base de données	94
4.3.	Trois approches de modélisation, pour trois types de questionnements	96

4.3.1.	Le littoral exerce-t-il un effet sur l'urbanisation résidentielle ?	96
4.3.2.	La réglementation protège-t-elle efficacement les espaces littoraux contre l'étalement urbain ?	97
4.3.3.	L'urbanisation devient-elle de plus en plus rationnelle ?	101
4.4.	Conclusion	106
5.	Occupation, usage et vulnérabilité du littoral aux risques côtiers	108
5.1.	Contexte scientifique et partenarial	108
5.2.	Cadre conceptuel : du risque à la vulnérabilité systémique.....	111
5.2.1.	Au-delà du risque, la vulnérabilité	111
5.2.2.	Vers des indices de vulnérabilité systémique.....	112
5.2.3.	L'absence d'un consensus conceptuel	115
5.2.4.	OSIRISC, une approche systémique de la vulnérabilité en quatre composantes 117	
5.3.	Méthodologie	119
5.3.1.	Choix des variables et production des indicateurs.....	119
5.3.2.	Place de l'occupation et de l'usage du sol dans les enjeux	123
5.3.3.	Des indicateurs aux indices : méthodes d'agrégation	125
5.3.4.	Représentation des indices : l'interface Web-SIG OSI.....	126
5.4.	Résultats.....	128
5.4.1.	Les indices d'aléas	128
5.4.2.	Les indices d'enjeux	129
5.4.3.	Les indices de gestion	130
5.4.4.	Cas des représentations sociales.....	131
5.4.5.	Indices transverses	131
5.4.6.	Vers une analyse de la vulnérabilité systémique	134
5.5.	Conclusion : passer de l'état à la trajectoire de vulnérabilité systémique	136
Partie 3 :	Perspectives de recherche, trajectoires d'occupation du littoral.....	137
6.	Trajectoires d'occupation et d'usage du littoral, déterminants et conséquences.....	139
6.1.	Le littoral breton comme terrain de recherche	139
6.2.	Méthodologie	143
6.2.1.	La notion de trajectoire : cadre conceptuel	143
6.2.2.	Géohistoire et Géoprospective.....	144
6.3.	Cas d'étude.....	147
6.3.1.	Trajectoires d'urbanisation résidentielle, réglementation et projets de territoire 147	
	Contexte	147
	Objet	148
	Objectif	148
	Méthode	149

Résultats attendus	151
6.3.2. Trajectoires de vulnérabilité aux risques côtiers	152
Contexte	152
Objet	154
Objectifs	155
Méthode	155
Résultats attendus	157
6.3.3. Trajectoires d'anthropisation des petits bassins versants bretons.....	159
Contexte	160
Objet	161
Objectif	163
Méthode	164
Résultats attendus	166
6.4. Conclusion de la partie	167
Conclusion générale.....	169
Contribution personnelle à ces projets	170
Bibliographie.....	173
Table des figures	201
Liste des tableaux	202
Table des matières.....	203
Résumé	207
Abstract.....	208

Résumé

En tant qu'espace particulièrement attractif, le littoral est soumis à des dynamiques sociales et environnementales complexes, qui se trouvent exacerbées dans le contexte des changements globaux en cours. L'occupation et l'usage du sol résultent de ces relations complexes entre l'homme et son environnement, et en constituent des indicateurs très pertinents. S'ils peuvent être décrits par la cartographie, sous forme d'états, l'occupation et l'usage du sol sont par essence des processus dynamiques, incluant des notions de réversibilité ou de résilience. Leur analyse nécessite par conséquent d'intégrer pleinement la composante temporelle, seule à même d'en décrire les stades successifs, les séquences d'évolution, les interrelations et les processus qui les déterminent. Ce mémoire d'HDR débute ainsi par une synthèse des principales évolutions et des enjeux contemporains de l'occupation et de l'usage du littoral, en particulier en France métropolitaine. Il revient ensuite sur le cadre conceptuel des travaux auxquels j'ai pu contribuer dans ce domaine. Ces travaux s'adosent à la fois à la géographie du littoral, par l'espace et les thématiques considérés, et au large domaine scientifique des Land Change Sciences par les méthodes déployées. La seconde partie du mémoire expose les principales recherches auxquelles j'ai contribué dans les domaines de la cartographie des changements d'occupation du littoral, de l'analyse de leurs facteurs déterminants, et de leur influence sur la vulnérabilité systémique des territoires aux risques côtiers. Enfin, la troisième partie est consacrée aux perspectives de recherche qui constituent les bases de mon projet scientifique pour les années à venir. Ces perspectives sont axées sur la notion de trajectoire, en tant qu'approche multidimensionnelle et multiscalaire, visant à décrire des dynamiques de territoires littoraux. La trajectoire permet en effet d'associer à l'analyse spatiale une description des variations temporelles, pouvant inclure des cycles, des ruptures, des bifurcations, qui peuvent être organisés séquentiellement mais avec des temporalités variables, et possèdent une certaine dimension aléatoire. Interroger cette notion de trajectoire implique donc à la fois de développer des approches rétrospectives, auxquelles j'ai déjà eu l'occasion de me confronter dans différents projets, pour rechercher dans le passé des clefs de compréhension du présent et des évolutions actuelles. Mais elle requiert également de mobiliser des méthodes géoprospectives, qui considèrent l'espace géographique non pas comme un support des dynamiques qui s'y exercent, mais comme un acteur à part entière du devenir des territoires. Ces approches géohistoriques et géoprospectives s'appuient sur des méthodes à forte composante géomatique, et s'inscrivent également dans un cadre réflexif, pluridisciplinaire et par conséquent collectif, qui me semble pertinent pour étudier plusieurs thématiques contemporaines cruciales du littoral breton : l'urbanisation résidentielle, la vulnérabilité aux risques côtiers et la qualité de l'eau.

Mots clefs : littoral, occupation et usage du sol, urbanisation, risques côtiers, trajectoire

Abstract

As a particularly attractive area, the coastline is subject to complex social and environmental dynamics, which are exacerbated in the current context of global change. Land use and land cover are both the result and relevant indicators of these complex relationships between man and his environment. Although they can be mapped as states, land use and land cover are essentially dynamic processes, that integrates notions of reversibility or resilience. Therefore, their analysis requires the full integration of time for consistently describing the successive stages, the sequences of changes, the interrelations and the processes that determine their evolution. This HDR theses thus begins with a synthesis of the main developments and contemporary issues of the coastal land use and land cover, particularly in metropolitan France. It then focuses on the conceptual framework of the research I have contributed to in this field. This research is based both on coastal geography, in terms of the territories and topics analysed, and, in terms of the methods used, on the broad scientific field of the Land Change Sciences. The second section of the theses presents the main results I contributed to, to map coastal land use and cover changes, to understand their driving factors, and to evaluate their influence on the systemic vulnerability of coastal territories to risks. Finally, the third section is dedicated to the research prospects that form the basis of my scientific project for the coming years. These prospects are focused on the notion of trajectory, as a multidimensional and multiscalar approach, aiming at describing the dynamics of coastal territories. The trajectory notion allows spatial analysis to be associated with a description of temporal variations, which can include cycles, breaks and bifurcations, which can be organised sequentially but with variable temporalities, and which have some random dimension. Questioning this notion of trajectory therefore implies developing retrospective approaches, which I have already been able to experiment in various projects, in order to search in the past some keys to understanding the current states and trends. But it also requires the mobilisation of geopropective methods, which consider geographical space not as a simple support for the dynamics that take place there, but as a full-fledged agent in the future of territories. These geohistorical and geopropective approaches are based on methods with a strong geomatic component, and are also part of a reflexive, multidisciplinary and consequently collective framework. This framework seems to me to be consistent fort studying several crucial contemporary issues of the Breton coasts: residential urbanisation, water quality, and vulnerability to coastal risks.

Keywords: Coastal zone, Land Cover, Land Use, urbanisation, coastal risks, trajectory

Résumé

Espace particulièrement attractif, le littoral est soumis à des dynamiques sociales et environnementales complexes, exacerbées par les changements globaux en cours. L'occupation et l'usage du sol résultent de ces relations entre l'homme et son environnement, et en constituent des indicateurs très pertinents. Outre la description spatiale de ces processus, qui constitue l'un des projets de la géographie, leur analyse temporelle permet d'en décrire les stades successifs, les séquences d'évolution, les interrelations et les facteurs déterminants. Ce mémoire d'HDR débute par une synthèse des principales évolutions et des enjeux contemporains de l'occupation du littoral de la France métropolitaine, tout en s'attachant à en décrire le cadre conceptuel qui s'inscrit dans le domaine scientifique des *Land Change Sciences*, notamment par l'usage de la géomatique. La seconde partie du mémoire expose les principales recherches auxquelles j'ai contribué pour décrire les changements d'occupation du littoral breton, analyser leurs déterminants et comprendre leur influence sur les risques côtiers. Enfin, la troisième partie expose mes perspectives de recherche qui s'adosent à la notion de trajectoire, dont la dimension à la fois multiscalaire et multidimensionnelle permet de considérer l'espace géographique non pas comme un simple support des dynamiques qui s'y exercent, mais comme un acteur à part entière du devenir des territoires. La notion de trajectoire permet de développer des méthodes à la fois historiques et prospectives appropriées pour explorer des thématiques contemporaines du littoral breton telles que l'urbanisation résidentielle, la vulnérabilité aux risques côtiers et la qualité de l'eau.

Mots clefs : littoral, occupation et usage du sol, urbanisation, risques côtiers, trajectoire

Abstract

As a particularly attractive area, the coastal zone is subject to complex social and environmental dynamics, now exacerbated in the current context of global changes. Land use and land cover are both the result and relevant indicators of these relationships between man and his environment. In addition to the spatial description of these processes, as one of the main projects of geography, their temporal analysis allows to describe stages, sequences, interrelations and driving factors. This HDR thesis begins with a synthesis of the main evolutions and contemporary issues of the French coastal land use, and presents its conceptual framework in the field of *Land Change Sciences*. The second section presents the main researches I contributed to describe land use and cover changes of the Breton coastal zone, to understand their driving factors, and to evaluate their influence on coastal risks. Finally, the third section presents my research perspectives focused on the notion of trajectory, as a multidimensional and multiscale approach, which considers geographical space not as a simple frame for social and environmental dynamics, but as a full part agent in the future of territories. Trajectory provides a consistent framework to develop historic and prospective methods to explore some contemporary issues of the Breton coastal zone: urbanisation, vulnerability to coastal risks, and water quality.

Keywords: Coastal zone, Land Cover, Land Use, urbanisation, coastal risks, trajectory