



Concepts et outils pour l'analyse spatiale des conflits d'usages - Applications en zone côtière (baie de Bourgneuf, Pays de Loire, France)

Ion Tillier

► To cite this version:

Ion Tillier. Concepts et outils pour l'analyse spatiale des conflits d'usages - Applications en zone côtière (baie de Bourgneuf, Pays de Loire, France). Géographie. Université de Nantes, 2011. Français. NNT : . tel-00661390

HAL Id: tel-00661390

<https://theses.hal.science/tel-00661390>

Submitted on 19 Jan 2012

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

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

UNIVERSITÉ DE NANTES
INSTITUT DE GÉOGRAPHIE ET D'AMÉNAGEMENT RÉGIONAL (IGARUN)
LETG - GÉOLITTOMER (UMR 6554 CNRS)

2011

N° attribué par la bibliothèque

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

THÈSE

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE NANTES
Discipline : Géographie

Présentée et soutenue publiquement
Par

Ion Tillier

Le 5 décembre 2011

**Concepts et outils pour l'analyse spatiale
des conflits d'usages**

***Applications en zone côtière
(baie de Bourgneuf, pays de Loire, France)***

Directeur de la thèse :

Marc ROBIN

JURY

VIRGINIE DUVAT-MAGNAN, Professeur de Géographie, La Rochelle, rapporteur
FRANÇOISE GOURMELON, Directrice de recherche CNRS, Brest, examinateur
MARC ROBIN, Professeur de géographie, Nantes, directeur de la thèse
CYRIL TISSOT, Chargé de recherche CNRS, Brest, examinateur
CHRISTINE VOIRON, Professeur de géographie, Nice, rapporteur

A - Abécédaire de cette thèse : Manière personnelle (et quelque peu décalée) de remercier les proches, les collègues et les partenaires de l'aide et la patience distillées au long de ce travail. Egalement manière de se remémorer des moments particuliers.

B - Baie de Bourgneuf : Secteur d'étude. Merci à ses vasières pour les quelques suées qu'elles m'ont procurées et à sa faune locale pour les bonnes et moins bonnes rencontres. Dans les bonnes rencontres, l'équipe du SGAR, en charge de l'opération de GIZC, m'a permis d'intégrer les groupes de travail et de former ainsi des partenariats riches. Merci donc à Danièle Trucy, Hervé Pontieux (de l'ADBVB) et spécialement à Richard Douhet, Julien Fortune, Anthony Branchereau et Jean-Françoué. Nos relations ont largement dépassé le cadre de la baie de Bourgneuf.

C - Cave : Nom familial du repaire doctoral nantais situé au sous-sol du château du Tertre. Microcosme où se sont côtoyés dans le partage, l'émulation et la franche rigolade, des padawans de la géographie : Helen, Fanny, Anne-Sophie, Nora, Anh, Eddy, Mohamed, Thierry, Daenis, Abdel-Mounim... et ceux que j'oublie, qu'ils m'en excusent. Les anciens thésards ont aussi été des personnes importantes, apportant expérience et bienveillance : Céline, Brice² (le péchou et l'ovalien), Guigui l'archéo et Régis. Une mention plus que particulière, empreinte d'affection et de reconnaissance, aux plus proches toujours présents : Claire, Nicolas et Julien.

D - Daroun's : Soutiens indéfectibles de ce travail que cela soit pour héberger ma voiture le temps de la réparation des bas de caisse que le Gois avait mis à mal, pour effectuer les corrections orthographiques de ce document ou pour savoir ne pas poser la question « Alors, ça avance bien en ce moment ? ». Ce soutien sans faille, ainsi que celui du reste de ma famille est un des paramètres clé de l'aboutissement de ce travail.

E - EDD : Département « Environnement Développement Durable » (RIP) du Centre National de la Recherche Scientifique, organisme ayant co-financé ce travail via l'obtention d'une Bourse de Doctorat pour Ingénieur entre 2006 et 2009.

F - Facom : Fabricant bien connu d'outils à main, très utiles sur le terrain pour parer aux aléas de l'observation scientifique.

G - Gepetto : Hermanito éclusier/poète, assistant à la relativisation des tracés du thésard et grand pourfendeur de champignons en nos contrées.

H - « Ha ! » : Interjection bien connue, dont je ne citerai pas l'auteur, mais qui fut source de fous rires extraordinaires au sein du laboratoire Géolittomer.

I - IGARUN : Institut de Géographie et d'Aménagement de l'Université de Nantes, structure qui m'a permis, lors de trois années de vacances, puis deux années d'ATER d'exercer l'enseignement de la Géographie. Une formation perpétuelle à la formation qui a grandement nourri mon expérience et mon envie de poursuivre dans cette voie.

J - « Je dois terminer cette section avant ce soir » : Leitmotiv de la rédaction de thèse

K - « Klang » : bruit du passage de vitesse caractéristique de la Ducati ST3, compagnon desmodromique de route stricto sensu. Un grand V aux MCBGiste et aux liSTeux.

L - LETG (Littoral, Environnement Télédétection Géomatique) : Merci au directeur de cette UMR et l'encadrant de ce travail, Marc Robin, pour le soutien dispensé et la réponse positive au harcèlement dont j'ai fait preuve dans les dernières semaines pour la relecture de ce travail. Merci aux directeurs successifs du laboratoire Géolittomer, antenne nantaise de l'UMR LETG, Loic Ménanteau et Denis Mercier, d'avoir été toujours pourvoyeurs d'un lieu d'hébergement et de moyens de travailler d'une rare qualité. Dans ce laboratoire, la proximité permanente avec les personnels CNRS et les enseignants chercheurs a été une grande source d'apprentissage. Parmi ceux-ci, certains ont apporté un concours particulier : Paul Fattal et Etienne Chauveau pour m'avoir lancé sur la voie de la recherche en master, Brice Trouillet (bis) pour les discussions et les remarques toujours très pertinentes sur ce travail et le reste (sauf la fixation de cadres au mur), Thierry Guineberteau pour mon intégration dans l'ORECOLM et l'occasion de voir des chaussures extraordinaires, Christine Lamberts pour le coup de main Kruska-Wallisien entre autres, Laurent Godet pour les discussions tomates/grives musiciennes/récifs d'hermelles, Laurent Pourinet pour les pauses café/cartographie/palettes, Pascal Lecomte pour l'aide

au développement de PAPISCH et les échanges de photos aragonaises et Gile Gorsse pour le travail constant de gestion des missions et les parenthèses motardes (Harley, c'est pas une marque de tracteurs ?).

M - Marinette : gbou bgou et tout ce qui va avec. Merci.

N - Noirmoutier : la Communauté de Communes de l'Île de Noirmoutier est une structure avec laquelle des partenariats solides ont été construits. Martin Paillart, Régis Marty et Franck Bouillé ont été des partenaires sans lesquels ce travail n'aurait jamais abouti. Merci à vous trois. L'ambiance Com' Com' est également à mentionner, elle fut salvatrice les jours de mauvais temps notamment (« T'es trempé, tu prendras bien un snickers ? »). De la même manière, Pascal May (Association Escale Nautique) et Perrine Dulac (LPO Vendée) ont contribué à l'aboutissement de certaines études.

O - Observation : Base de ce travail, alliée à l'écoute.

P - « Pfiou, c'était chaud ! » : Phrase de soulagement de l'auteur suite à un envasement massif (au dessus de la taille) sur l'estran de Sébastopol en début de marée montante. Merci à l'illustre inconnu, pêcheur à pied, qui m'a aidé à sortir de ce trou.

Q - Quantification : Pendant de l'observation de terrain.

R - Région des Pays de la Loire : Co-financeur de ce travail via une Bourse de Doctorat pour Ingénieur mixte CNRS-CRPDL.

S - SRC : Section Régionale de la Conchyliculture en Pays de la Loire devenue Comité Régional de la Conchyliculture ; structure avec laquelle des partenariats ont été menés. Merci à son président Jacques Sourbier, ainsi qu'à Marion Petit et Merwyn Moison pour les échanges de données et d'idées.

T - Tissot Cyril : Co-encadrant informel de ce travail, Chargé de Recherche CNRS à LETG - Laboratoire Géomer, Brest. Qu'il reçoive ma reconnaissance éternelle pour la grande attention lors de la relecture des chapitres de cette thèse, l'aide à la publication de différents articles et les bonnes soirées « chez l'habitant » lors de mes séjours finistériens. Je lui dois beaucoup plus que des confitures et des confits de canards.

P ar extension brestoise, je remercie Mathias Rouan pour la virée dans la vase, David Brosset pour m'avoir permis d'utiliser son algorithme et Damien Le Guyader pour les échanges scientifiques passés et à venir.

U - « Urah » : Cri prononcé sans aucun doute par l'auteur lorsque ce document sera imprimé.

V - Volley-ball : Dé fouloir hebdomadaire pratiqué avec de joyeux drilles. Mention spéciale à mon camarade étoilé, qui n'a pas hésité à faire la route pour venir jouer avec moi, ce qui est un immense plaisir.

W - Wagon : Gros objet qu'il m'arrive de rater.

X - Xiberoa : Refuge régulier, salvateur, tout comme son voisin Aragon. Merci à leurs pentes, torrents et champignons. Altzuku connection.

Y - Yop : Onomatopée communément lancée lors du passage d'un étier en marais breton (sans perche, n'est pas maraîchin qui veut).

Z - Zou : Cri prononcé par le collectif MAPSien lors de la descente d'un toboggan aquatique (avec plus ou moins de réussite, n'est ce pas Arnos ?). L'émergence et la montée en puissance du collectif Modélisations Appliquées aux Phénomènes Spatialisés, a été une expérience humaine et scientifique marquante. Longue vie à MAPS et à ses membres Furious Logo de la première heure : Marion, Elise, Sébastien, Pierre, Olivier ainsi qu'aux mentors Fred et Arnaud.

Introduction.....	8
Chapitre I – Bibliographie des approches spatiales des conflits d’usages.....	20
<i>I.1 L’identification des conflits via les entrées par les acteurs.....</i>	<i>20</i>
<i>I.2 L’observation des usages et des conflits par les approches cartographiques.....</i>	<i>24</i>
<i>I.3 La démarche explicative et la conceptualisation des situations de conflits d’usages.....</i>	<i>27</i>
<i>I.4 La modélisation dynamique des situations de conflits d’usages.....</i>	<i>31</i>
Chapitre II – Présentation de l’espace d’étude : la baie de Bourgneuf – Pays de Loire, France.....	36
<i>II.1 Localisation.....</i>	<i>37</i>
<i>II.2 Le contexte environnemental.....</i>	<i>38</i>
<i>II.3 Un espace polyfonctionnel.....</i>	<i>46</i>
Chapitre III – La formalisation de l’espace et des interactions spatiales.....	54
<i>III.1 La nécessaire formalisation d’un système spatial complexe.....</i>	<i>54</i>
<i>III.2 Les concepts et méthodes de modélisation conceptuelle.....</i>	<i>59</i>
<i>III.3 Une application au système spatial de production des conflits d’usages en zone côtière.....</i>	<i>67</i>
Chapitre IV - De la formalisation à la représentation cartographique des objets et interactions spatiales.....	80
<i>IV.1. Des Modèles Conceptuels aux Systèmes d’Information Géographique.....</i>	<i>81</i>
<i>IV.2. Exemples d’applications SIG.....</i>	<i>94</i>
<i>IV.3 Les apports et les limites des approches cartographiques statiques pour la compréhension des conflits d’usages en zone côtière.....</i>	<i>117</i>
Chapitre V – Du statique au dynamique : la prise en compte du temps dans l’analyse des relations entre usages et des interactions Nature-Société.....	122
<i>V.1 La plateforme DAHu (Dynamique des Activités Humaines), présentation et utilisation pour la simulation du déroulement de l’activité ostréicole en baie de Bourgneuf.....</i>	<i>123</i>
<i>V.2 Analyse prospective sur la relocalisation de l’activité ostréicole en eau profonde.....</i>	<i>138</i>
Chapitre VI – La simulation micro-spatiale pour l’aide à l’explicitation des situations de conflits d’usages.....	148
<i>VI.1 Problématique et présentation de l’espace d’étude.....</i>	<i>149</i>
<i>VI.2 Méthodologie et description du modèle.....</i>	<i>152</i>
<i>VI.3. Résultats.....</i>	<i>38</i>
<i>VI.4 Discussion.....</i>	<i>164</i>
<i>VI.5 Conclusion.....</i>	<i>169</i>
Conclusion.....	174

Introduction

Ouest France - jeudi 24 janvier 2008

Élever des huîtres ou pêcher à pied : ça coince



L'estran de la baie de Bourgneuf, niché entre Vendée et Loire-Atlantique, est très fréquenté par les pêcheurs à pied. Mais aussi par les ostréiculteurs qui cherchent des zones non envasées pour agrandir leurs parcs à huîtres face à La Bernerie-en-Retz. : Archives Ouest-France

Des ostréiculteurs de la baie de Bourgneuf veulent agrandir leurs parcs à huîtres dans des secteurs non envasés. À La Bernerie-en-Retz, les pêcheurs à pied de loisir s'y opposent.

Marée basse dans la baie de Bourgneuf, coincée entre Vendée et Loire-Atlantique. Cet estran riche en coquillages est très convoité. Par les pêcheurs à pied de loisirs et par environ 350 ostréiculteurs. D'où, parfois, des conflits d'usage et de voisinage. Actuellement, la création de nouveaux parcs à huîtres sur les rochers de Jaulin, face à La Bernerie-en-Retz, en Loire-Atlantique, est soumise à enquête publique. « Nous avons abandonné des parcs trop envasés aux Moutiers. Impossible d'y accéder. On demande donc à s'agrandir sur une petite zone d'un hectare environ », justifie Jacques Gareil, un des cinq ostréiculteurs demandeurs. « La baie n'appartient à personne » Mais l'association des pêcheurs à pied de la Côte de Jade ne l'entend pas de cette oreille. Ces nouvelles concessions « mordent sur une zone touristique et un secteur de pêche à pied très fréquenté », affirme François Gosselin, président de l'association forte de 1 000 adhérents. Celui-ci considère « qu'à marée basse, les espaces doivent rester accessibles au public, notamment aux pêcheurs de loisirs ». « La baie n'appartient à personne et les nouvelles parcelles ne gênent pas », réplique Pascal Girard, président de l'association de défense des ostréiculteurs. S'agrandir est vital pour nos entreprises. » L'association des pêcheurs à pied craint un « impact écologique négatif sur les gisements naturels de coquillages et de crustacés ». Elle cible « la dégradation de l'estran par les véhicules des ostréiculteurs et l'envasement provoqué par l'obstacle des parcs à huîtres ». Déjà, en 1999, ces arguments avaient fait mouche. Un dossier similaire avait échoué. Alors, l'association appelle encore ses adhérents à noircir les registres d'enquête publique en mairies de Bourgneuf, Les Moutiers, La Bernerie et Pornic. Les ostréiculteurs s'en désolent. « C'est ridicule de s'affronter. L'estran est grand, on peut partager », estime Jacques Gareil. « Nous cherchons à cohabiter en bonne intelligence », complète Jacques Sourbier, président de la section régionale de la conchyliculture. Les professionnels se disent prêts « à accepter la présence des pêcheurs à la crevette et aux palourdes dans nos parcs. Nous n'avons jamais mis personne dehors. » Rouvrir les parcs gelés Un autre volet de l'enquête publique imite : la création d'une zone expérimentale d'élevage des huîtres autour des rochers de Nor Ganin, entre La Bernerie et Pornic. Ici, Pascal Girard envisage d'implanter, dans un premier temps, 600 poches suspendues. Une technique actuellement inexistante dans la baie. « On souhaite tester sur 23 ares les potentialités du site par rapport à l'adaptabilité aux marées et aux gains de croissance des huîtres, motive Jacques Sourbier. On ne sait pas encore si l'ostréiculture s'y développera... » N'empêche, l'association des pêcheurs à pied redoute l'extension des concessions si le test est concluant. Le refus de François Gosselin est catégorique. « Ce sont les dernières roches sauvages de La Bernerie. C'est un endroit éloigné, fréquenté par quelques puristes. » « Mais il n'est pas question d'y interdire la pêche de loisir », rassure un ostréiculteur. Au lieu d'agrandir les zones ostréicoles, les pêcheurs à pied trouveraient plus pertinent que les Affaires maritimes accélèrent la réouverture des parcs à huîtres actuellement gelés dans la baie. Sauf que « 90 % des parcs gelés sont envasés », rétorque Pascal Girard. Quelle solution alors ? Peut-être prendre le large. Tester la technique des cages à huîtres plongées en eaux profondes, en projet du côté de Noirmoutier. Il faudra juste partager le plan d'eau... avec les pêcheurs et les plaisanciers.

Christophe JAUNET.

Les zones côtières sont des espaces sur lesquels les concurrences pour l'espace et les ressources sont très fortes (Vallega, 1999 ; Dronkers & Vries, 1999). La multiplicité et l'intensité d'usages parfois antagonistes créent des situations de conflits entre acteurs. Ceux-ci représentent souvent de véritables blocages dans les démarches de gestion territoriale (Ferrand & Deffuand, 1999 ; Kirat & Torre, 2008). La figure 1 utilise un exemple issu de la presse quotidienne régionale pour illustrer ce fait. Pour le scientifique en général et le géographe en particulier, ces conflits d'usages sont des objets d'étude qui révèlent la complexité des interactions spatiales entre acteurs et des interactions Nature-Société (Cicin-Sain & Knecht, 1998 ; Hanson, 1998 ; Vallega, 2001).

Figure 1 : Article paru dans Ouest France (Ouest France, 2008).

I.1 Éléments de définition

I.1.1 Les conflits d'usages

I.1.1.a Usage

Un usage est, selon le dictionnaire Larousse 2010, une « *pratique, manière d'agir fréquente, qui est habituellement et normalement observée par les membres d'une société déterminée, d'un groupe social donné* ». Cette définition générale permet de cerner les éléments caractérisant les usages. Il s'agit d'actions, de pratiques¹ ou plus souvent d'un ensemble de pratiques menées dans un but précis.

Ces pratiques sont le fait d'un individu ou d'un groupe identifiés. Le terme usager semble peu à propos puisqu'il se réfère le plus souvent à des individus utilisant un service marchand. Le terme acteur¹ semble plus approprié.

Dans un contexte territorial, les usages impliquent l'utilisation de ressources³. Les ressources peuvent être biologiques, minérales, énergétiques (renouvelables ou non). L'espace en lui-même peut également être une ressource.

Décrire, analyser et classer les usages nécessite donc de bien définir les acteurs, leur but, les pratiques mises en œuvre, ainsi que les processus liés à la ressource (Brody & al., 2003). Cette caractérisation s'effectue dans l'espace et le temps (Bartlett, 1999 ; Cuq & al., 2002 ; Le Tixerant, 2004).

In fine, la définition suivante peut être proposée : un usage est un ensemble de pratiques spatialisées et temporalisées, sur les ressources menées par un acteur ou un groupe d'acteurs identifiés.

¹Les pratiques sont des «*façons d'agir habituelles pour un individu ou un groupe*» (Larousse, 2010).

²Un acteur est un «*actant pourvu d'une intériorité subjective, d'une intentionnalité, d'une capacité stratégique autonome et d'une compétence énonciative*» (Lussault & Lévy, 2003).

³Ressource est entendue au sens large par «*une richesse potentielle qui, dans certains cas, sert à produire de la richesse*» (Brunet & al., 1992).

1.1.1.b Conflit

Un conflit est une « *situation dans laquelle s'opposent des forces antagonistes cherchant l'éviction de la partie opposée* » (Larousse 2010).

Cette situation peut être exprimée de différentes manières : polémique, tension, conflit stricto sensu (Cadoret, 2006 ; Stimec, 2007). Ces modes d'expression retracent les niveaux d'implication et les particularités socioculturelles des acteurs (Glasl, 1999 ; Kirat & Torre, 2008 ; Charlier, 1999 ; Lecourt, 2003).

Dans le cadre de conflits liés au partage de ressources, la différenciation entre conflit déclaré et conflit potentiel a été mise en avant par différents auteurs (Touzard, 1977 ; Vallega 1999 ; Guineberteau, 2006). Le conflit déclaré comprend toutes les situations d'opposition pour lesquelles on peut relater des manifestations formelles : voies de fait, actions en justice, regroupements en structures de défense (associations) ou médiatisation. Le conflit potentiel est un objet abstrait du point de vue social, les acteurs impliqués n'étant pas entrés dans une situation d'opposition (ils n'y entreront peut être jamais). L'appréciation de la situation de conflit potentiel et le passage à celle de conflit déclaré sont donc liés à celle des seuils d'acceptabilité des acteurs vis-à-vis d'actions exerçant des pressions sur leur activité, leur bien être.

1.1.1.c Conflit d'usages

Le conflit d'usages est donc un conflit lié à des usages ou volontés d'usages antagonistes des ressources (Ferrant & Deffuant, 1999 ; Kirat & Torre, 2008). Le lien entre conflits d'usages et interactions Nature-Société est très fort dans la mesure où de nombreux usages littoraux et maritimes reposent sur des pratiques mobilisant des ressources naturelles. Les problématiques de raréfaction, d'augmentation des pressions sur les ressources et de seuils de durabilité d'exploitation sont centrales pour la compréhension de nombreux conflits d'usages (Dronkers & Vries, 1999 ; Douvere & Elher, 2009 ; Tissot & al., 2008).

I.1.2 Les conflits dans la dynamique des territoires et des interactions Nature-Société

1.1.2.a Les approches systémiques des territoires et des interactions Nature-Société

Les territoires peuvent être définis comme des « [...] *espaces appropriés avec sentiment ou conscience de leur appropriation* » (Brunet & al., 1992).

L'approche systémique a été régulièrement mobilisée pour leur analyse (Dauphiné, 1979 ; Guermond, 1984 ; Cunha, 1988 ; Le Berre, 1992 ; Prélaz-Droux, 1995). Un système est un « *ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisés en fonction d'un but* » (De Rosnay, 1975 ; Popper, 1981 ; Lemoigne, 1984). L'approche systémique des territoires met en relation différents composants : l'espace, les acteurs et les représentations⁴ (Moine, 2008).

- L'espace géographique représente « [...] *l'étendue terrestre utilisée et aménagée par les sociétés [...]. Il comprend l'ensemble des lieux et leurs relations. C'est l'espace qu'étudient les géographes* » (Brunet & al., 1992). Ce système correspond donc à l'inscription des sociétés dans l'espace. Sa formalisation s'effectue par l'utilisation du concept de système spatial. « *Un système spatial est un ensemble de configurations [...] au sein duquel on peut repérer des logiques communes de fonctionnement et des dynamiques qui ne se réduisent pas à l'addition des logiques de chaque élément* » (Lévy & Lussault, 2003).

- Le sous-système des acteurs représente la mise en réseau et les jeux entre les acteurs pour l'usage, l'aménagement du territoire. Les acteurs sont d'ordres divers (Etat, collectivités territoriales, entreprises, société civile, etc. (Claval, 1987 ; Moine, 2008)) et ont des compétences et pouvoirs d'action et de décision inégaux (Cadoret, 2006). L'analyse des objectifs, stratégies et capacités d'action des acteurs couplée à celle de leur insertion dans des réseaux d'influence permet d'apporter un éclairage à la dynamique du territoire, en termes de synergies et de blocages notamment.

- Enfin, le sous-système des représentations⁴ traite lui de la composante idéale des acteurs vis-à-vis du territoire. En effet, le territoire adopte un sens différent suivant

⁴Une représentation est une « *Forme que prend dans l'intellect une idée, un phénomène, un objet ou un espace* » (Brunet & al., 1992).

les perceptions que l'on a d'un paysage ou d'une organisation spatiale (Frémont, 1976 ; Raffestin, 1986 ; Di Méo, 1998). Ces représentations agissent comme des filtres dans les décisions et actions des acteurs. L'analyse des représentations des acteurs est donc nécessaire pour appréhender la dynamique territoriale.

Les conflits d'usages mettent en jeu de nombreuses interactions Nature-Société. Le concept d'anthroposystème permet d'intégrer le paradigme systémique pour leur étude (Lévêque & al, 2003). L'anthroposystème « *se définit comme un système interactif entre deux ensembles constitués par un (ou des) sociosystème(s) et un (ou des) écosystème(s) naturel(s) ou artificialisé(s) s'inscrivant dans un espace géographique donné et évoluant avec le temps* » (Lévêque & al, 2003). Il retrace l'évolution des conceptions de ces interactions (Langlois, 2005 ; Lageudec & Chenorkian, 2009 ; Bourgeon & al, 2009 ; Bruckmeier, 2011) depuis celui de géosystème (Bertrand & Beroutchavili, 1968 ; Beroutchavili & Rougerie, 1991) avec la prise de conscience de l'impact global de l'action des sociétés humaines.

Il permet la formalisation d'un objet d'étude pour répondre aux questions de la gestion des écosystèmes et des ressources par les groupes sociaux. L'anthroposystème peut être mobilisé à différentes échelles spatiales (du global au local) et prend en compte plusieurs aspects temporels (de la rétrospective à la prospective) (Lévêque & al, 2003). Le lien entre conflits d'usages et interactions Nature-Société se forme autour de l'exploitation et du partage des ressources (Mermet, 1992).

1.1.2.b La fonction du conflit dans l'évolution des territoires et des interactions Nature -Société

Les situations de conflits sont paradoxales. Elles relatent en effet à la fois une opposition et un lien social (Coser, 1956). Leur résolution est un mode de changement et d'évolution (Brunet & al., 1992 ; Cadoret, 2006 ; Charlier, 1999 ; Lecourt, 2003). Les conflits représentent donc des crises dans l'évolution des systèmes (Kirat & Torre, 2008 ; Muller, 2008), au même titre que l'occurrence d'un aléa (Ferrand & Deffuant, 1999). En effet, leur émergence révèle bien souvent des mutations des pratiques et de l'occupation de l'espace qui déclenchent des situations de blocages entre acteurs. Leur régulation amène quant à elle une réorganisation et confère au conflit son rôle de vecteur de changement.

I.1.3 Le déroulement des conflits

L'analyse du déroulement des conflits permet de mieux cerner les processus lui conférant sa fonction de vecteur de changement. Le concept de cycles adaptatifs (Gunderson & Holling, 2002 ; Walker & al., 2004 ; Holling, 2001) donne un cadre d'analyse au déroulement des conflits. La figure 2 présente le concept de cycle adaptatif. C'est un modèle de transition décrivant les phases d'évolution d'un système soumis à différents attracteurs (Dauphiné & Provitolo, 2007 ; Defuant & Gilbert, 2011). Dans notre cadre, les attracteurs sont les objectifs de acteurs en conflit.

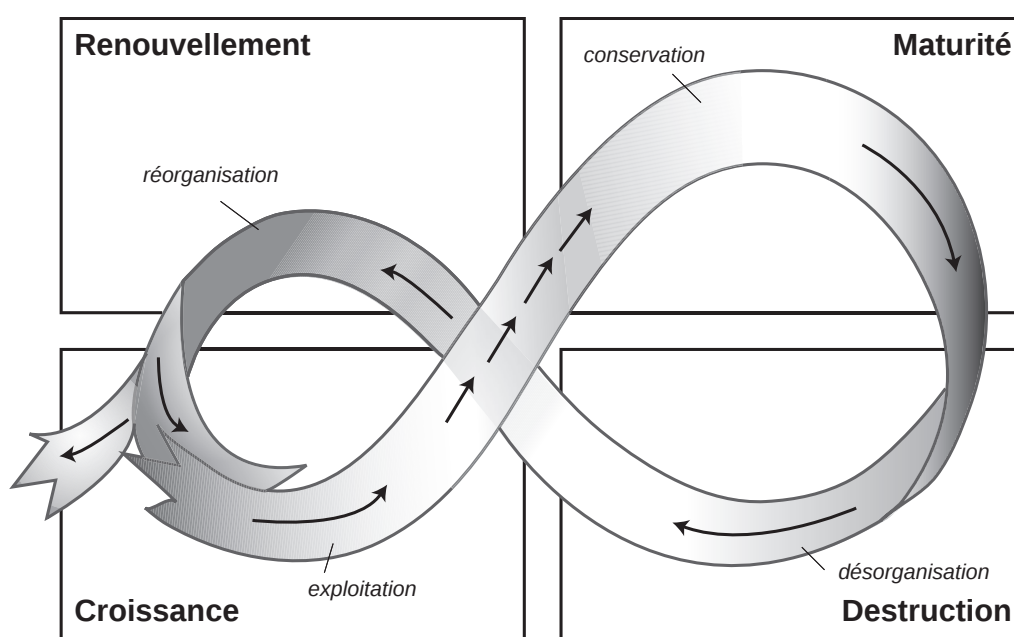


Figure 2 : Trajectoire théorique d'un cycle adaptatif (Holling, 2001).

La phase de croissance représente le début d'un cycle dans lequel s'engagent les acteurs. Les ressources sont facilement accessibles et leur utilisation/exploitation est croissante. La connexité (faisceau de relations entre acteurs dans notre cas) est faible et les pratiques des uns influencent peu celles des autres. Cela explique l'absence de conflits d'usages. La phase de maturité voit quant à elle la disponibilité des ressources fortement diminuer et la connexité des éléments du système augmenter. Le système est dans un état stable mais la résilience face aux perturbations est faible. C'est la phase dans laquelle se situent les conflits potentiels car certains acteurs ont développé des pratiques induisant des impacts à la limite de l'acceptabilité pour les autres acteurs. C'est lors cette phase que les rapprochements entre études des risques et des conflits convergent autour du concept de potentialité de l'évènement

(Ferrand & Deffuant, 1999). La phase de destruction révèle la genèse de la crise stricto sensu du système. Le dépassement de seuils de charge provoque des antagonismes forts, des conflits déclarés par lesquels les acteurs cherchent à affirmer de nouvelles règles de partage des ressources. Suivant les rapports de force, on recherche l'accord ou l'éviction des autres parties (Mitchell & Banks, 1995 ; Glasl, 1999). Cette phase où la productivité du système diminue fortement laisse place à la phase de renouvellement. Elle correspond à la réorganisation de la connexité entre acteurs et à l'édiction des nouvelles règles de fonctionnement. C'est la phase de régulation⁵ des conflits (Touzard, 1977 ; Barrow, 2010). Elle produit une nouvelle organisation du territoire dont la résilience est très faible (en lien avec la possibilité de retour à la phase de destruction si certaines des nouvelles règles ont été édictées sans la concertation nécessaire).

I.2 Problématique et méthodologie générale

I.2.1 Une approche par l'espace

Dans les approches systémiques des territoires comme dans le concept d'anthroposystème, les conflits d'usages ont un rôle de vecteur de changement dans les modalités de partage des ressources. Ils représentent un objet d'étude se plaçant de manière croisée entre Sciences Sociales et Sciences de l'Environnement (Mermet, 1992). Un élément permanent apparaît dans ces deux approches. Il s'agit de la nécessité de l'analyse des interactions et rétroactions dans l'espace et dans le temps (Lévêque & al, 2003 ; Moine, 2008). Les relations entre espace et conflits peuvent être de différents types. L'espace peut être objet, otage ou lieu d'expression du conflit (Lecourt & Faburel, 2008 ; Cadoret, 2009 ; Guineberteau, 2006). Dans le cas des conflits liés aux usages de ressources spatialisées, l'espace est l'objet du conflit. Dans la littérature thématique sur les conflits, les études par l'analyse des acteurs et des représentations sont très présentes (Lewicki & al., 2002 ; Hagman, 2005 ; Neumann & al., 2011 ; Amblard & al., 2010 ; Torre & al., 2010 ; Labianca & al., 1998 ; Dziedzicki, 2001). Les publications traitant des interactions spatiales sont elles aussi nombreuses (Jay & al., 2007 ; St Martin, 2008 ; Wright & Scholz, 2005 ; Longdill & al., 2008) mais

⁵La régulation est, selon le Larousse 2010, «l'action visant à assurer un fonctionnement correct, un rythme régulier». La régulation des conflits d'usages peut passer par la négociation ou le droit (Stimec, 2007).

celles spécifiquement dédiées aux concepts et outils pour l'analyse des interactions spatiales générant des conflits restent moins représentées (Brody & al., 2003 ; Harris & al., 1995 ; Le Tixerant, 2004 ; Albritton & Stein, 2011).

C'est autour de ce constat que se fonde notre posture de recherche.

L'étude de ces interactions spatio-temporelles complexes est une des clés de compréhension des conflits (Mermet, 1992). Elle nécessite le recours à l'analyse de l'objet du conflit. Celle-ci peut être effectuée par l'utilisation de la systémique spatiale. « Reconnaître que l'organisation de l'espace est le produit de la spatialisation d'un système économique n'empêche pas de concevoir que cet espace produit forme un système en soi grâce à l'inscription dans l'espace de formes à forte inertie. L'expression système spatial n'est donc pas abusive : il faut reconnaître l'autonomie de l'espace » (Baudelle & Pinchemel, 1986). L'intégration des ressources comme objets spatiaux permet d'englober les interactions nature société dans l'étude des systèmes spatiaux (Lussault & Lévy, 2003). La définition des faisceaux de relations à l'origine des situations de conflit revient à formaliser le système spatial de production des conflits d'usages. Outre la formalisation de ce système, un autre objectif est le développement d'outils d'analyse, de représentation et de prospective (Bousquet & Le Page, 2004 ; Houet, 2006 ; Casanova, 2009). Cette posture de recherche est à mettre en lien avec le développement des approches géoprospectives. Celles-ci font converger prospectives territoriale et environnementale (Mermet, 2003 ; Delamarre & Malhomme, 2002 ; Fauchard & Mocellin, 2009 ; Gourmelon & al., 2008) autour du rôle du spatial (Voiron & al., 2011). L'espace y est entendu comme « *un paramètre explicatif de l'évolution des territoires* » (Gourmelon & al., 2011). La géoprospective est orientée vers l'opérationnel via la conception d'outils pour l'aide à la décision pour la gestion des territoires. Les démarches géoprospectives sont généralement mises en œuvre à des échelles locales dans le cadre de l'aide à la gestion ou à l'anticipation de conflits d'usages (Etienne, 2010 ; D'aquino & al., 2002). D'un point de vue plus thématique, ces démarches trouvent un écho avec le récent développement de la planification spatiale en mer (Young & al., 2007 ; Heinrichs & al., 2005 ; NOAA, 2010). Les premières expériences, datant de la dernière décennie, montrent l'importance de la formalisation des usages dans leur composante spatiale pour la production d'information et de prospective de qualité (Duncan & Lach, 2006 ; Jay, 2010 ; Dubuc, 2009).

1.2.2 Problématique et hypothèses de recherche

L'objectif général de ce travail est de chercher à mieux comprendre les processus de construction des conflits d'usages dans l'espace et dans le temps. Il s'agit d'aider à leur anticipation dans le cas de conflits potentiels ou leur régulation dans le cas de conflits avérés. La problématique découlant de cet objectif peut être formalisée de la façon suivante : **quels sont les concepts et outils mobilisables pour l'analyse spatiale des conflits d'usages ?** Ce questionnement s'articule autour de deux axes. Il concerne tout d'abord la recherche d'un cadre conceptuel pour formaliser le système spatial de production des conflits d'usages. Il induit ensuite l'exploration de la manière dont peuvent être utilisés les différents outils d'analyse spatiale pour la compréhension, la représentation et l'analyse prospective des conflits d'usages.

Cette problématique amène à la formulation de deux hypothèses de recherche :

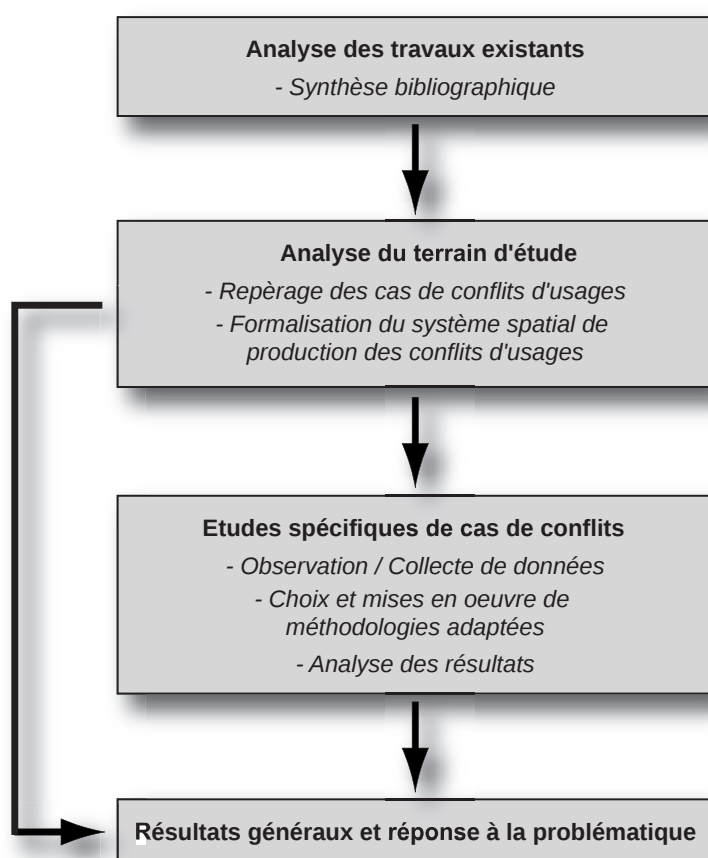
- **On peut mettre en évidence des structures spatiales récurrentes générant des conflits d'usages.**
- **Il est possible de repérer des seuils d'intensité des certaines pratiques dont le dépassement est facteur de conflit.**

Pour tester ces hypothèses et répondre à la problématique, deux choix ont été effectués. Celui de ne travailler que sur les conflits inter-usages a été motivé par la volonté de ne pas spécialiser notre approche sur une thématique de conflits. Dans notre travail, ne seront donc pas évoqués par exemple, les conflits internes à l'activité de pêche (ex. : fileyeurs versus ligneurs) tels que traités dans d'autres travaux (Charles, 1992 ; Bolopion & al., 2000).

Le deuxième choix est en lien avec l'objectif de travail en collaboration avec des gestionnaires. Il s'agit de l'échelle d'étude. Les concepts d'anthroposystème et de territoire présentent des conceptions à échelle variable (Lévêque & al, 2003 ; Elisalde, 2004), devant s'adapter aux problématiques. Celle-ci est nécessairement fine dans le cas du système spatial de production des conflits d'usages (Etienne, 2010).

I.2.3 Méthodologie générale

Ce travail mêle nécessairement recherches fondamentale et appliquée. La recherche fondamentale consiste en la définition de concepts pour analyser l'objet d'étude et, en partie également, au développement d'outils d'analyse novateurs. La partie proche de l'ingénierie territoriale concerne l'insertion dans un cadre partenarial avec différentes structures (collectivités territoriales, services de l'Etat et associations). Le but est de co-construire les démarches et outils et d'en tester la pertinence dans un cadre de gestion.



Pour répondre à la problématique de ce travail, nous avons mis en place une méthodologie générale que l'on peut résumer en quatre temps comme le montre la figure 3.

Figure 3 : Méthodologie générale du travail.

Ainsi, une revue bibliographique des travaux traitant de l'espace dans l'analyse des conflits d'usages constitue le premier point. Cette analyse sera restituée dans le *Chapitre I*. Ensuite, à partir de l'exemple de la baie de Bourgneuf (espace présenté en *Chapitre II*), un repérage, une caractérisation et une typologie des conflits seront effectués. Cette analyse spatiale à l'échelle de l'ensemble territorial étudié ainsi que la

formalisation du système spatial de production des conflits d'usages seront exposés dans le *Chapitre III*. La recherche sur les méthodes pour l'analyse des cas de conflits à une échelle fine permettra d'explorer les outils géomatiques que sont les SIG (*Chapitre IV*), les modèles de simulation spatiale (*Chapitre VI*) et les chaînages entre ces deux outils (*Chapitre V*). Ces trois chapitres s'appuieront sur des problématiques d'étude spécifiques. Enfin, la présentation des résultats généraux, les limites et les perspectives de ce travail seront développés en conclusion.

Chapitre I – Bibliographie des approches spatiales des conflits d'usages

Il existe différents types d'approches des conflits d'usages prenant en compte leur composante spatiale. Ces approches poursuivent des objectifs variés. Cela va depuis le repérage de l'objet du conflit à la cartographie d'usages issue de simulations numériques, en passant par la conception de modèles graphiques.

Ce Chapitre présente ces différents types d'approches, leurs objectifs, méthodologies et résultats attendus. La typologie est présentée avec une progression croissante dans la prise en compte et la formalisation de la complexité spatiale des relations entre usages. Cette typologie expose des travaux utilisés pour (i) l'identification, (ii) l'observation, (iii) la conceptualisation et la (iv) modélisation des conflits d'usages.

I.1 L'identification des conflits via les entrées par les acteurs

Les travaux sur les processus sociaux et économiques de construction des conflits d'usages relèguent généralement les interactions spatiales à un rôle secondaire. De nombreux exemples illustrent ce fait, notamment au Canada (Trudelle, 2003 ; Joerin & al., 2005 ; activité de l'observatoire de l'activité conflictuelle en milieu urbain et périurbain⁶) et au Brésil (Observatoire des conflits urbains de la ville de Rio de Janeiro⁷). Certains travaux poursuivant le même objectif ont aussi été développés sur des espaces littoraux et/ou en forte relation avec les interactions Nature-Société (Burns & Howard, 2003 ; Calvo-Mendietta, 2005 ; Barli & al., 2006 ; Bouba-Olga & al., 2008 ; Deldreve & Crepel, 2008 ; Pennanguer & al., 2008 ; Guillemot & al., 2008 ; Avci & al., 2010). Ces travaux ont avant tout pour objectif l'analyse des acteurs (Ravnborga & Westermannb, 2002 ; Mushove & Vogel, 2005 ; Pomeroy & Douvere, 2008 ; Guineberteau & al., 2009 ; Reed & al., 2009 ; Rastogi & al., 2010 ; Maguire & al., 2012), des réseaux sociaux (Cadoret, 2006) et des dynamiques d'opinions (Weisbuch & al.,

⁶<http://observatoireconflits.org/>

⁷<http://www.observaconfitos.ippur.ufrj.br/>

2005 ; Amblard & al., 2010 ; programme du groupe « Social Conflict » de l' « European Social Simulation Association⁸»).

A la marge de ces approches, l'équipe de recherche PROXIMITES de l'UMR SADAPT⁹ (INRA-SAD) a réalisé des travaux sur la thématique des conflits liés aux usages de l'espace (Torre & al., 2006 ; Caron & Torre, 2006 ; Kirat & Torre, 2007 ; Jeanneaux & Perrier-Cornet, 2008 ; Kirat & Torre, 2008). Les travaux produits convergent autour de l'évaluation et de la mesure de la conflictualité (Torre & al., 2010 ; Torre & Zuindeau, 2010). Ils ont contribué à l'intégration de la composante spatiale depuis le début des années 2000. L'objectif général est de catégoriser les objets du conflit (Torre & al., 2010), à partir de l'analyse de cas de conflits avérés.

Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie reposant sur le traitement de différentes sources de données a été mise en place. Insérées dans une description et une analyse plus généraliste des zones étudiées, des données issues de trois différentes sources viennent alimenter la connaissance des cas de conflits :

- Le dépouillement de la Presse Quotidienne Régionale (PQR) représente un premier aspect de l'acquisition de données. Le travail consiste en un recensement dans un quotidien donné et sur une période définie (d'au moins un an), des articles traitant de cas de conflits. « Lorsque les informations contenues dans un article permettent d'identifier l'engagement crédible d'un acteur [...], celui-ci est indexé parmi la liste des articles du corpus à l'aide des variables suivantes : titre, date, édition, rubrique et page, résumé » (Torre & al., 2010). Le corpus d'articles (avec métadonnées associées) permet de retracer le déroulement d'un conflit dans le temps, replaçant les principales actions des protagonistes. Ce type de sources de données comporte bien évidemment des biais car il ne concerne que les éléments relatés par la presse, qui peut omettre, atténuer, ou être partisane.

- L'analyse des contentieux vient donc en complément au repérage et à l'analyse. « L'analyse statistique des sources judiciaires vise à examiner la manière dont les règles juridiques sont mobilisées [...] à partir d'une étude du contentieux entre les parties prenantes du conflit. Le propre de cette analyse est de prendre pour objet une catégorie particulière de conflits : ceux qui ont fait l'objet d'une trajectoire spécifique

⁸<http://www.essa.eu.org/Special%20Interest%20Groups/SIGOnSocialConflictAndSocialSimulationSC>

⁹<http://www.versailles-grignon.inra.fr/sadapt>

les ayant conduits à un traitement juridictionnel » (Torre & al., 2010). Sur ces profils particuliers de conflits, l'analyse de contentieux permet d'apporter des éléments de connaissance basés sur une importante bibliothèque de jurisprudence¹⁰.

- Les entretiens à dire d'experts représentent une troisième source d'information, importante autant du point de vue de la quantité que de la qualité. « *Les entretiens sont réalisés avec des experts, contactés auparavant par téléphone à partir d'une liste préalable, et concernent entre 40 et 50 personnes par zone d'étude. Ils ont pour but d'identifier les dynamiques d'évolution des espaces ruraux et périurbains concernés, de repérer les types de conflits et de tensions en rapport avec les usages concurrents et d'appréhender les solutions mises en œuvre en termes de gouvernance territoriale. Le choix d'experts provenant de différents milieux professionnels et associatifs a pour but de refléter une forte variété d'opinions, suite à la diversité des appartenances institutionnelles* » (Torre & al., 2010). A partir d'une grille d'entretien relativement ouverte, il s'agit d'apporter des éléments sur l'objet, les motifs du conflit, les acteurs en jeu et les manifestations du conflit. Ce travail d'entretiens permet d'acquérir de nombreuses données filtrées à travers les représentations des experts. Néanmoins, en réalisant ce travail avec un nombre conséquent d'experts, des croisements d'informations permettent une compréhension des enjeux et des processus de construction des conflits sur le territoire étudié.

Les données collectées et traitées sont stockées dans une base de données. Il s'agit d'une base relationnelle reliant, à propos de chaque cas étudié, des variables sur le contexte du conflit, les acteurs et leurs actions. Les résultats de ces travaux se présentent donc comme des études de cas dont une analyse globale permet une généralisation et la constitution d'une typologie des processus de construction des conflits. Ainsi, des typologies des objets de conflits, des acteurs intervenants, des usages ou encore des registres d'argumentation en ont été extraites. Leur utilité est de construire, sur leur volet social, des stéréotypes, des modèles de genèses possibles des conflits liés aux usages de l'espace.

¹⁰La base utilisée par les auteurs est Lamyline (<http://www.lamyline.com/>).

La contribution à l'analyse spatiale est l'identification des conflits d'usages. Différents éléments relatent en effet la composante spatiale des conflits comme les typologies des objets des conflits (Figure 4). La base de données contient de plus des éléments de localisation des cas de conflits qui permet la cartographie et l'évaluation de la conflictualité des territoires par l'utilisation d'un indice de densité (Darly, 2009).

Types	Sous-types
Accessibilité et servitude	Droit d'accès et de passage Occupation / stationnement
Installation classée pour la protection de l'environnement	Carrière, gravière Récupération, stockage, traitement de déchets Récupération, stockage de matériaux Production, stockage de produits chimiques Autres industries réglementées
Réhabilitation de sites	Site d'extraction Site de production industrielle Site de stockage
Activités de service	Tourisme, loisir Transport, distribution de carburant Commerce, distribution, publicité Transport
Exploitation agricole, halieutique, forestière	Exploitation agricole, halieutique, forestière
Infrastructures d'utilité publique	Infrastructure de transport Production, transport d'énergie Infrastructure télécommunication Etablissement public
Gestion et préservation du milieu naturel	Chasse, pêche Gestion, qualité des eaux Qualité des sols Qualité de l'air Paysage Préservation, gestion biodiversité
Opération ou document d'urbanisme ou d'aménagement	Aires accueil Document d'urbanisme Droit de préemption Occupation du DPM Remembrement foncier Périmètre de gestion des risques Périmètre de gestion du milieu naturel Construction, extension du bâti agricole Construction, extension d'habitation Construction, extension de structures commerciales Construction, extension de voies de communication
Voisinage	Troubles du voisinage Règlement de copropriété Vol, dégradation, agression

Figure 4 : Typologie des objets de conflits (Torre & al., 2010).

I.2 L'observation des usages et des conflits par les approches cartographiques

Ces démarches sont implémentées dans le domaine de la Recherche (Fock, 2008) mais surtout de la gestion des territoires, notamment dans le cadre d'opérations de planification spatiale en mer (NOO, 2004 ; Maes & al., 2005 ; IDON, 2005 ; FOC, 2007 ; Blæsbjerg & al., 2009). Elles ont pour objectif de cartographier les usages à partir de leur observation et de mettre en évidence les interactions spatiales entre ceux-ci (Brody & al., 2003 ; Préfecture du Morbihan, 2005 ; Boyes & al., 2005 ; Jay & al., 2007 ; Dalton & al., 2010). Elles se focalisent sur la formalisation des pratiques dans l'espace et dans le temps et s'efforcent de produire des données de référence. Ces données permettent de représenter l'intensité des usages de l'espace (Figure 5 (FOC, 2007) et Figure 6 (NOO, 2004)). Les méthodologies d'acquisition de données sont variées. Les cartographies réglementaires sont une source de données évidente pour des activités très encadrées ou fixes comme l'extraction de granulats ou l'aquaculture en mer. Pour des activités relativement circonscrites dans l'espace comme la pêche à pied ou les zones de mouillages, on peut recourir aux comptages et aux enquêtes de terrain (Lesueur & al., 2003 ; Peuziat, 2004 ; Préfecture du Morbihan, 2005 ; Ratiskol & al., 2011). Mais des méthodologies d'observation peuvent également être conçues pour des activités à fortes variabilités spatio-temporelles. Elles peuvent, par exemple, faire appel pour les activités navigantes (pêche, transport maritime) aux données issues du Vessel Monitoring System¹¹ (FOC, 2007 ; Fock, 2008 ; Laurans & al., 2008). Le plus souvent, les données sont multi-sources. Ce type d'approches permet l'observation des usages et des interactions spatiales entre ceux-ci. Elles reposent sur des données définissant les usages dans l'espace et dans le temps. Leur définition temporelle reste cependant assez sommaire (Ex : nombre de jours de pratique dans l'année). L'analyse spatiale des conflits d'usages est donc assez statique et ne prend que rarement en compte les interactions usages/ressources (Stelzenmüller & al, 2008 ; Pedersen & al, 2009). L'information produite est néanmoins utile au diagnostic dans le cadre de démarches de planification des usages en mer (Rutherford & al., 2005 ; Dalton & al., 2010). Cela permet, de plus, d'enrichir l'analyse des superpositions par l'intégration d'un pondérateur, l'intensité de l'usage dans le temps (NOO, 2004 ; Maes & al., 2005 ; FOC, 2007).

¹¹Le VMS est un système de surveillance des navires par satellite, il est obligatoire pour les navires de plus de 15m. Plus d'informations sur sa réglementation en Union Européenne sur : http://europa.eu/legislation_summaries/transport/waterborne_transport/l24261_fr.htm

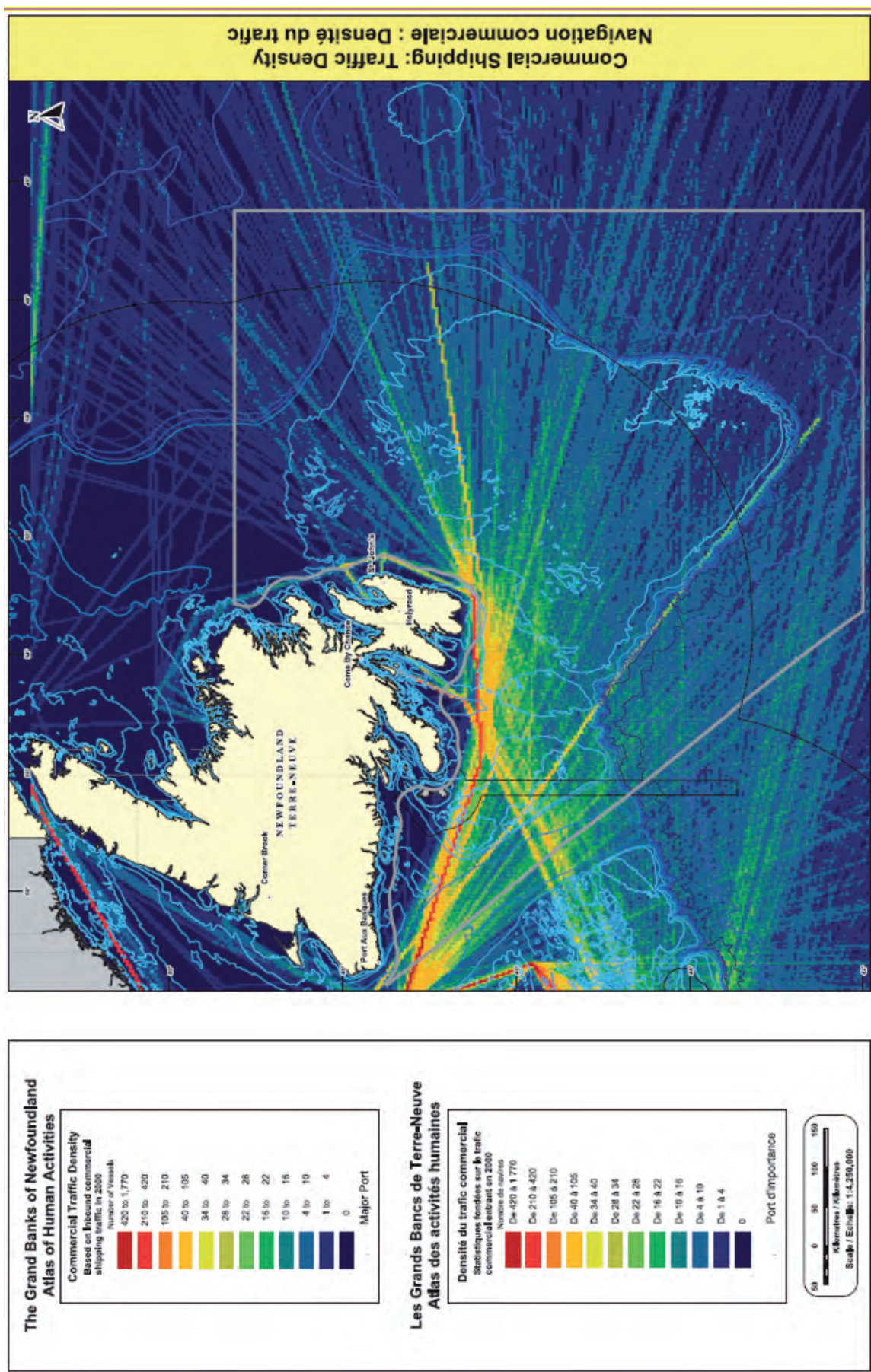


Figure 5 : Densité de trafic maritime commercial (Trafic entrant, Nombre de passagers par unité spatiale en 2000) (FOC, 2007).

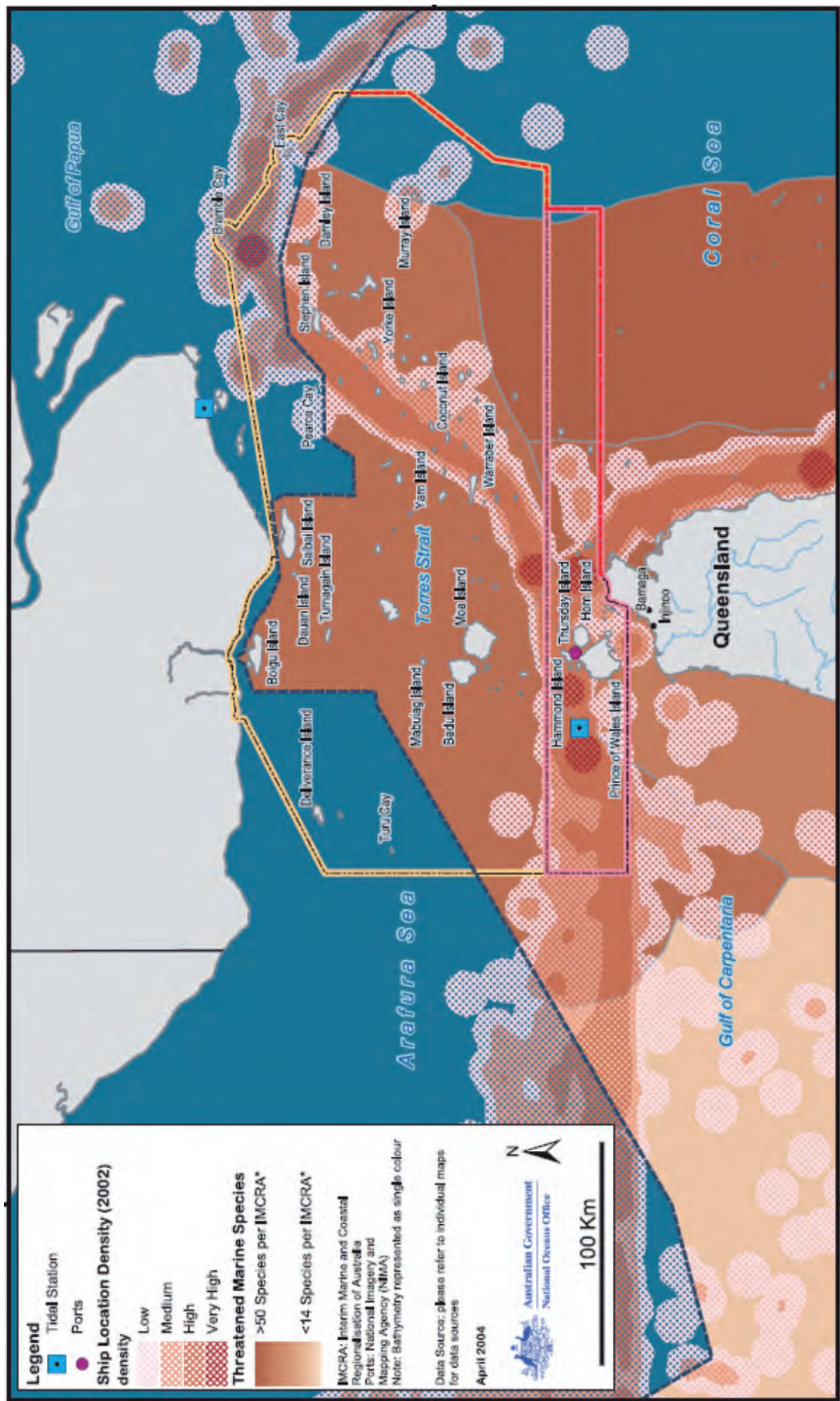


Figure 6 : Interactions spatiales entre trafic maritime et espèces marines menacées (NOO, 2004).

I.3 La démarche explicative et la conceptualisation des situations de conflits d'usages

I.3.1 Les grilles d'interactions

Ces démarches se fondent sur l'observation des interactions spatiales entre usages à une méso-échelle géographique. Elles sont pour la plupart synthétisées dans des grilles de compatibilités dérivées du modèle global d'interactions des usages en mer d'A. D. Couper (Couper, 1983).

Différents auteurs ont développé des raffinements thématiques ou régionaux sur le principe des grilles d'interactions entre usages (Vallega, 1991, 1996, 1999 ; Dupilet, 2000 ; Le Tixerant, 2004 ; Le Guyader, 2009). Celles-ci reposent sur la qualification des relations spatiales entre usages implantés sur un même espace. Ces interactions peuvent être bénéfiques, neutres ou conflictuelles. Ce type de démarche intègre la notion de conflit potentiel et se pose de manière proactive pour l'analyse des conflits. En effet, l'observation d'interactions problématiques entre deux usages ne signifie pas que toutes les interactions du même type vont générer des conflits avérés. Ce type de démarche est généralement mis en œuvre dans le cadre d'une analyse plus large en Géographie régionale. La figure 7, est un exemple de matrice d'interactions potentielles entre usages marins conçue à partir de l'exemple méditerranéen (Vallega, 1991).

Outre l'objectif de conceptualisation des interactions spatiales entre usages, ces approches peuvent servir de base à des applications cartographiques. Celles-ci se sont beaucoup développées depuis le début des années 1990 en lien avec l'essor de la géomatique (Vallega, 1999 ; Bartlett & Smith, 2005 ; Gourmelon & Robin, 2005). En effet, elles permettent la transposition directe d'un cadre conceptuel à une analyse spatiale au sein d'un Système d'Information Géographique (Longhorn, 2003 ; Brody & al., 2003 ; Möller, 2011). Ainsi, les usages spatialement délimités, il est possible de mener des analyses de leurs superpositions spatiales pour identifier des secteurs potentiellement problématiques. Les grilles d'interactions potentielles sont d'ailleurs aujourd'hui des outils largement utilisés pour des travaux à méso-échelle ou pour des études sectorielles ou thématiques (NOO, 2004 ; NOAA, 2010 ; Norden, 2009).

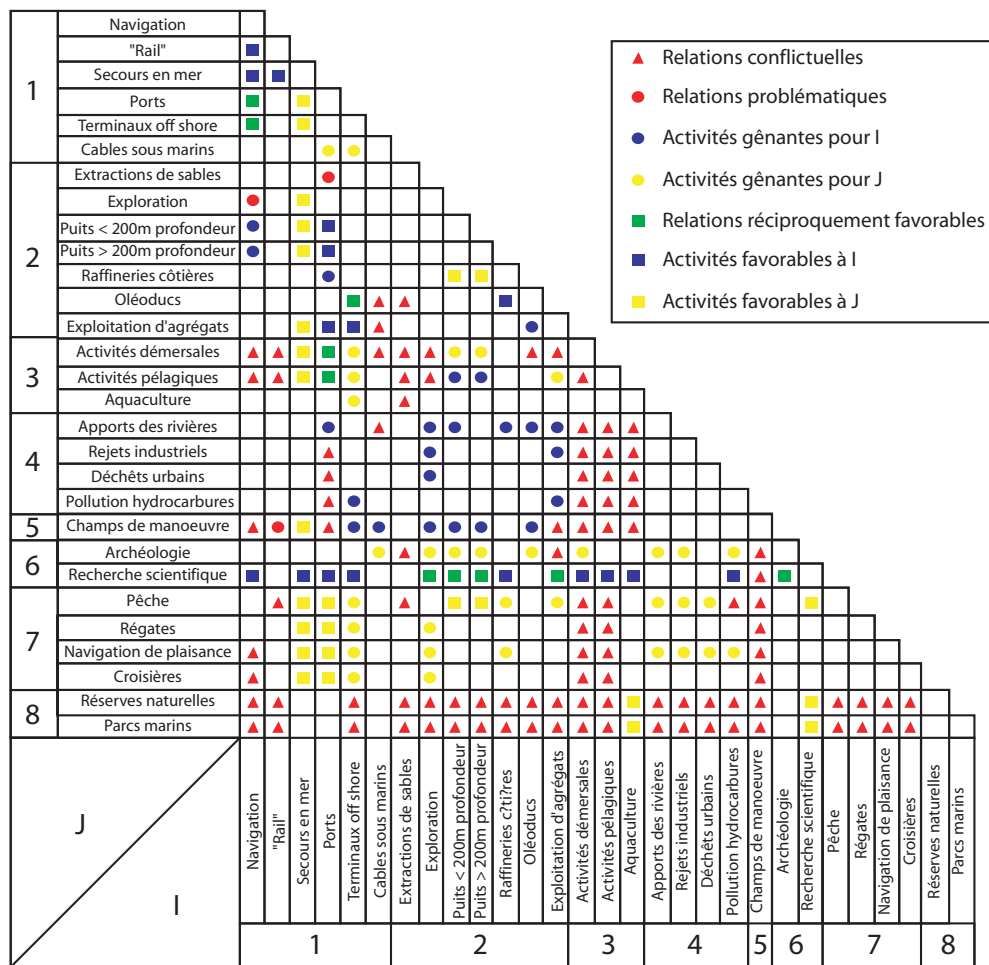


Figure 7 : Matrice des relations entre usages en contexte méditerranéen (Vallega, 1991).

On peut illustrer le chaînage de ces grilles à des cartographies d'usages avec un exemple. Les figures 8 et 9 présentent des résultats issus de cette méthodologie (Couchoud, 2005). Le but est d'enrichir les grilles par des indices d'impacts potentiels pondérant les relations spatiales. Les relations topologiques entre usages sont elles-mêmes enrichies par la prise en compte de certains voisinages (en plus des superpositions). Les grilles traitent de différents impacts : concurrence spatiale, pollution visuelle, pollution olfactive, pollution organique et minérale et présence de micropolluants toxiques. Pour chaque activité, des grilles détaillent les potentielles émissions et les vulnérabilités d'impact. Cette base théorique sur les interactions spatiales potentiellement conflictuelles est développée dans un essai de spatialisation. L'utilisation de la base de données Corine Land Cover a permis d'ancrer spatialement les usages et d'effectuer les traitements (relations topologiques entre objets) dans un logiciel SIG.

Polluants minéraux et organiques	Culture	Élevage	Pêche	Aquaculture	Construction	Industrie agro-alimentaire	Industrie manufacturière	Extraction	Extraction sel et marais	Production, distribution d'énergie, gaz	Transport de rail	Transport routier	Transport aérien	Activités récréatives avec infrastructure	Activités récréatives sans infrastructure	Activités récréatives avec infrastructure	Activités récréatives sans infrastructure	Commerce	Population	Espaces protégés
Culture	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Élevage	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Pêche	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Aquaculture	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Construction	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Industrie agro-alimentaire	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Industrie manufacturière	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Extraction	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Extraction sel et marais	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Production, distribution d'énergie, gaz	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Transport de rail	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Transport routier	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Transport aérien	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Activités récréatives avec infrastructure	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Activités récréatives sans infrastructure	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Activités récréatives avec infrastructure	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Activités récréatives sans infrastructure	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Commerce	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Population	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Espaces protégés	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0

Figure 8 : Grille d'impacts simplifiée pour les pollutions minérales et organiques (Couchoud, 2005).

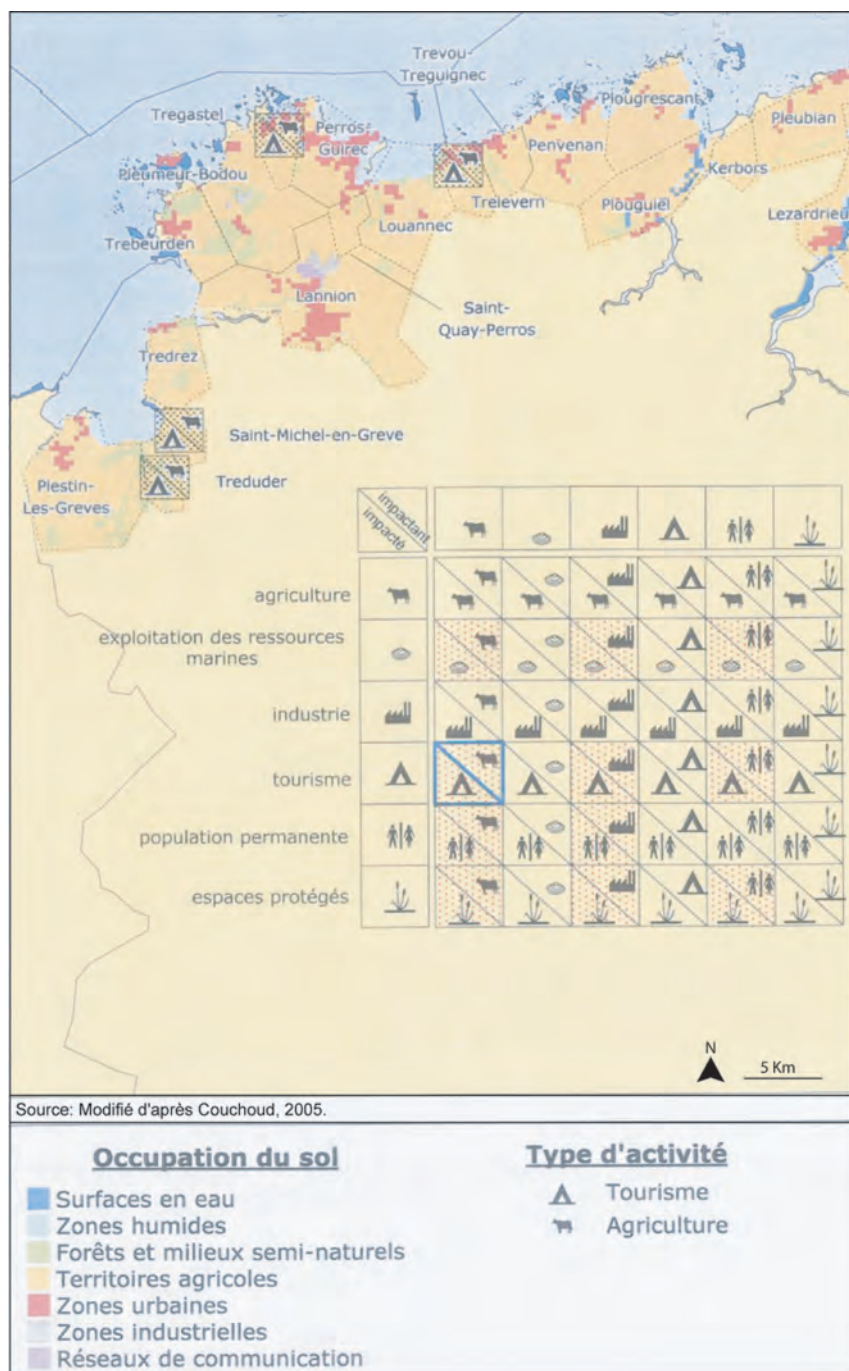


Figure 9 : Les conflits d'usages potentiels entre les activités agriculture et tourisme, dont l'origine est une pollution minérale ou organique, ou par micropolluant toxique par commune sur le littoral des Côtes d'Armor (Couchoud, 2005).

Si la démarche théorique associée à ce type de travail semble pertinente (cohérence méthodologique, évaluation des interactions via un système d'indices), sa mise en œuvre pose problème. En effet, la difficulté d'accéder à des données adéquates limite fortement la portée des résultats produits. La disponibilité d'une information géographique de qualité est un préalable à ce type d'étude (Populus & Loubersac, 2000 ; Longhorn, 2003 ; Le Berre, 1999 ; Gourmelon & Robin, 2005 ; Bartlett & Smith, 2005 ; Le Guyader, 2009). Ce type d'approches donne donc un cadre d'analyse large aux interactions spatiales générant des conflits. Mais elles ne permettent pas de prendre en compte leur complexité (nombreuses interactions et rétroactions entre usages ; entre usages et ressources).

I.3.2 Les approches par modélisation graphique

Ces démarches sont centrées sur l'analyse et la formalisation des interactions spatiales. L'utilisation des chorèmes pour la conception et la représentation des conflits d'usages est issu de l'objectif de représenter les objets et les dynamiques des conflits (Etienne, 1990a, 1990b ; Couix & Desse, 1992 ; Michel & Lardon, 2001 ; Bonin, 2001 ; Brunet, 2004 ; Houdart & Bonin, 2006 ; Cadoret, 2006). Les modèles graphiques permettent de comprendre et faire comprendre des archétypes de situations productrices de conflits. La figure 10, issue de la thèse d'A. Cadoret en est un exemple.

Ce type de travail est un exemple de modélisation spatiale des interactions spatiales générant des conflits. Il retrace la volonté d'intégrer les conflits d'usages dans un cadre d'analyse spatiale systémique. Les structures et dynamiques spatiales générant des conflits ne peuvent cependant que difficilement être quantifiées via les chorèmes, qui permettent surtout leur formalisation.

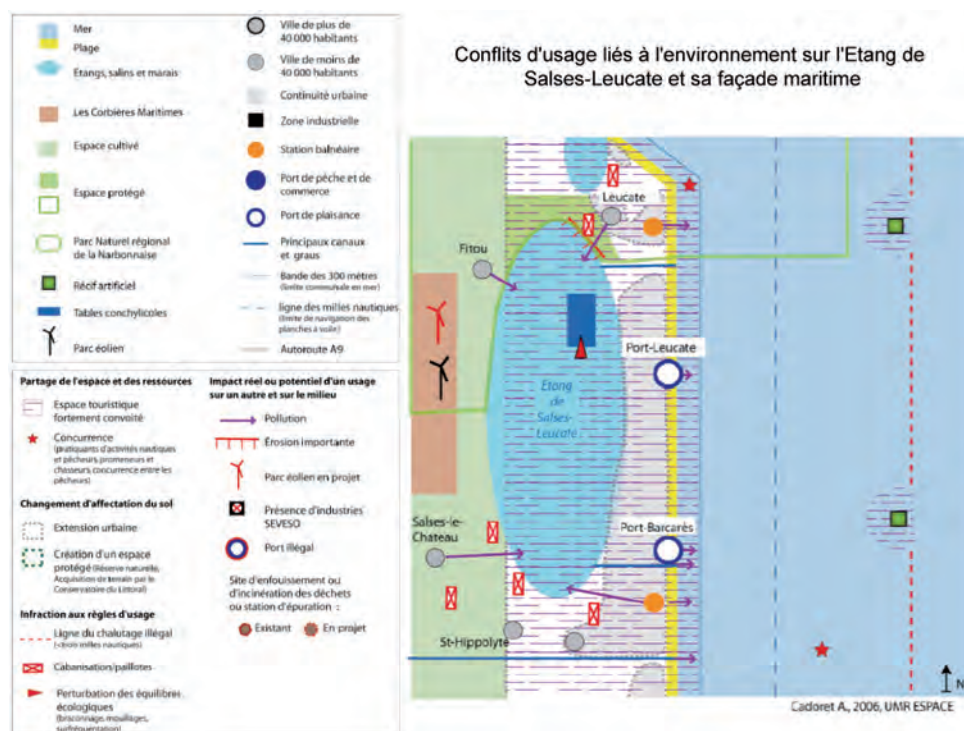


Figure 10 : Modèle graphique des conflits d'usages liés à l'environnement sur l'Etang de Salses-Leucate et sa façade maritime (Cadoret, 2006).

I.4 La modélisation dynamique des situations de conflits d'usages

Ces approches sont rares et hétérogènes dans leurs méthodologies. Leurs objectifs sont la spatialisation des usages et/ou la simulation d'interactions entre usages et ressources. Elles attestent la formalisation des contraintes de spatialisation et/ou d'interactions entre usages (ou entre usages et ressources).

Les simulations de spatialisation d'activités s'opposent aux cartographies issues d'observation dans le sens où elles représentent un potentiel de spatialisation des usages (Le Tixerant, 2004). On peut utiliser l'exemple du simulateur DAHu (Dynamique des Activités Humaines) (Tissot & al., 2004 ; Le Tixerant & Gourmelon, 2006). Celui-ci s'appuie sur le développement d'une plateforme de simulation couplant Système d'Information Géographique (SIG) et Système Multi-Agents¹² (SMA) réactif (Tissot & al., 2005). Le SIG intervient à deux niveaux. Tout d'abord il est utilisé comme pré-processeur pour la préparation et l'intégration de données spatio-temporelles sur les

¹²Modèle à Intelligence Artificielle Distribuée composé d'un ensemble d'agents interagissant dans un environnement en fonction de contraintes prédéfinies. Un agent se caractérise par une certaine autonomie dans la perception de son environnement et les actions qu'il peut entreprendre.

contraintes s'appliquant aux usages. Ces contraintes sont environnementales (physiques, biologiques, météorologiques), réglementaires et socio-économiques (Le Tixerant, 2004). Elles sont représentées sous forme de cartes et de calendriers de pratiques retraçant les différentes phases d'un usage (Le Tixerant, 2004 ; Le Tixerant & Gourmelon, 2006). Ensuite, le SIG est utilisé pour analyser et cartographier les cartes-résultats. Entre ces deux phases se déroule la simulation. Le principe de celle-ci est de forcer des agents (représentant les usages) à s'adapter aux variables de forçage particulières définies par les couches SIG (Tissot & al., 2004 ; Le Tixerant & Gourmelon, 2006). Cette adaptation se fait par l'application d'un ensemble de règles (Le Tixerant & Gourmelon, 2006) (Ex : impossibilité de chaluter lorsque la météorologie marine est mauvaise). Les résultats sont des cartographies de territoires de pratique potentielle par dates. A partir de cette base, des synthèses comme celle présentée dans la figure 11 sont possibles. Ces démarches de spatialisation des activités a priori apportent (i) une intégration du temps avec une granularité fine et (ii) une définition multi-contraintes des potentielles spatialisations des usages. Elles ne prennent toutefois pas en compte la quantification des interactions usages-ressources et la multiplicité des interactions et rétroactions pouvant générer des conflits d'usages.

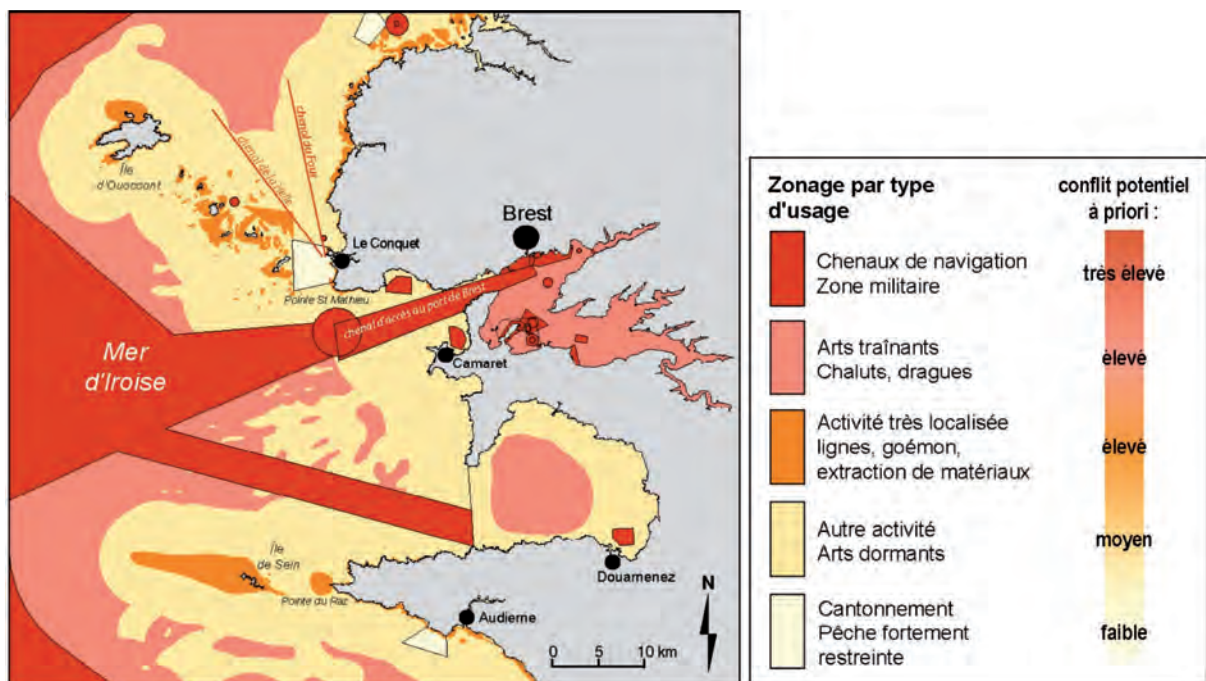


Figure 11 : Cartographie des conflits d'usages potentiels pour l'implantation d'infrastructures de captage d'énergies marines renouvelables en mer d'Iroise (Le Tixerant, 2004).

Cependant, ce type d'approches ne permet pas la formalisation des logiques spatio-temporelles de tous les usages. Les activités récréatives présentent en effet une variabilité à mettre en lien avec les comportements individuels des acteurs (Gimblett & al., 1996 ; Itami & al., 2003 ; Gimblett & al., 2003 ; Manning & al., 2005).

Un autre type de simulation spatiale est donc utilisé par certains auteurs pour l'analyse des interactions spatiales générant des conflits d'usages (Itami et al., 1999 ; Morris et al., 2005 ; Gimblett & Skov-Petersen, 2008). Elles sont plus centrées sur la formalisation des comportements individuels et leur simulation via des modèles individus-centrés (Grimm & Railsback, 2005). Elles permettent l'intégration des modalités d'interactions Nature-Société et la scénarisation prospective (Gimblett & Itami, 1997 ; Etienne, 2003 ; Cole, 2005 ; Gourmelon & al., 2008).

Le simulateur RBSim¹³ donne un exemple concret de ce type de démarche de simulation spatiale (Gimblett & Skov-Petersen, 2008). L'objectif de ce modèle est de simuler les parcours empruntés par les visiteurs dans des espaces protégés (Parcs Nationaux des Etats-Unis d'Amérique), en fonction de règles de comportement définies à l'échelle de l'individu. Ces règles intègrent par exemple la distance de parcours maximale suivant le mode de locomotion, les capacités d'orientation si le parcours s'effectue hors réseau balisé (randonnée pédestre), la liste des sites à visiter et le seuil d'acceptation de présence d'autres visiteurs (Gimblett & Itami, 1997 ; Gimblett & al., 2003). Ces règles de comportement viennent interagir avec l'environnement dans la simulation.

Cette structure de modélisation est typique des systèmes multi-agents cognitifs¹⁴ (Ferber, 1995). Le modèle conceptuel du simulateur RBSim (figure 12) expose cette structure. L'environnement est construit par un jeu de données SIG comprenant un modèle numérique de terrain, les axes de communication, la végétation et les points d'intérêt pour les visites (Itami & Gimblett, 2001 ; Gimblett & Skov-Petersen, 2008).

¹³RBSim (pour RecreationBehaviourSimulation) est un simulateur pour l'exploration de scénarii de gestion des visites de sites naturels (parcs nationaux des USA). Plus d'informations sur : <http://www.snr.arizona.edu/~gimblett/rbsim.html>

¹⁴Un Système Multi-Agent est dit cognitif quand le comportement des agents est dirigé par des buts à satisfaire, à l'inverse d'un SMA réactif dans lequel le comportement des agents est dirigé par les changements de l'environnement (Ferber, 1995).

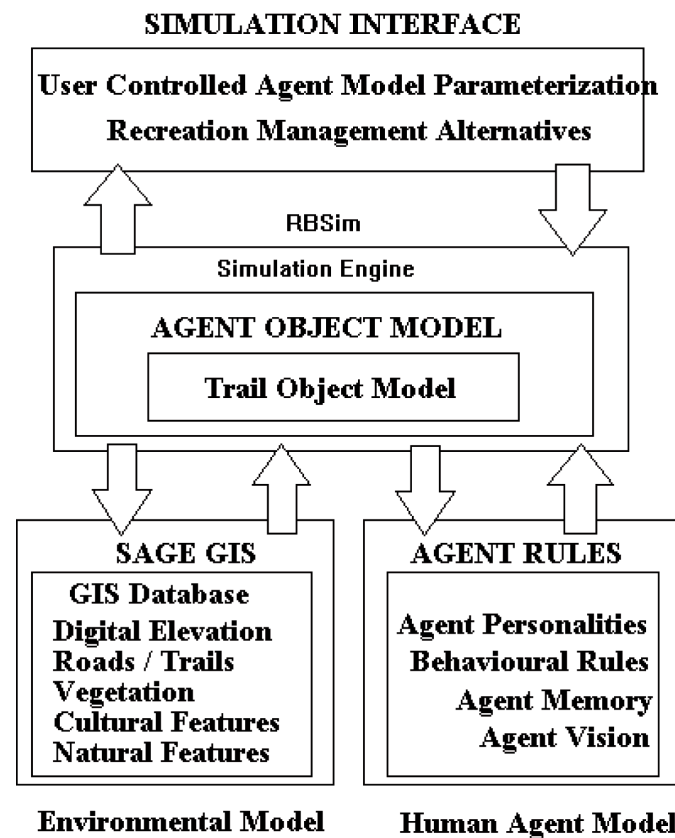


Figure 12 : modèle conceptuel du simulateur RBSim (Gimblett & Itami, 1997).

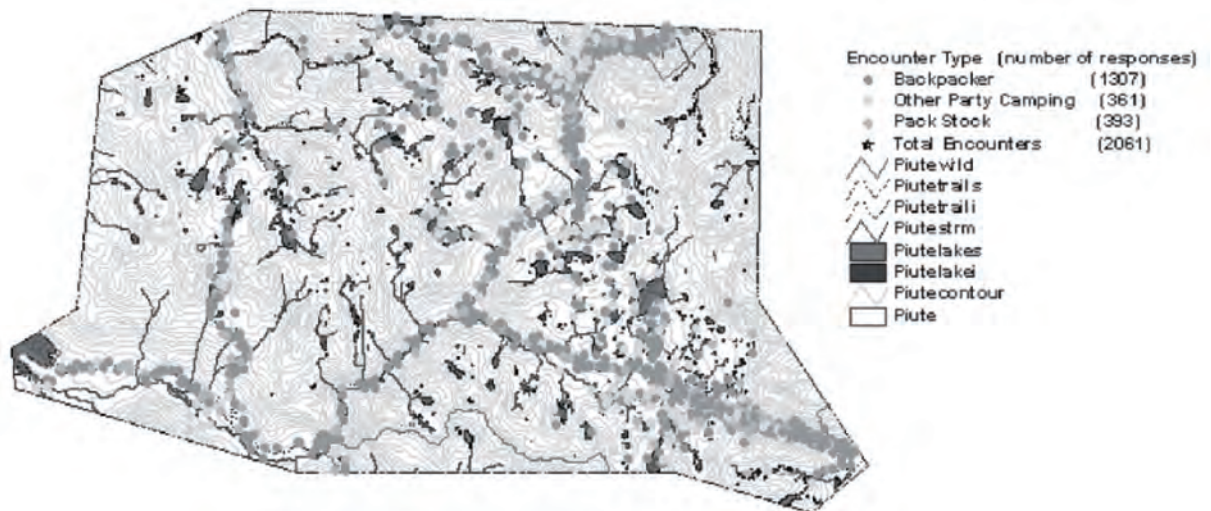


Figure 13 : Exemple de résultats de Simulation de RBSim : cartographie des rencontres entre visiteurs dans le bassin de Humphrey, Californie (Gimblett & al., 2003).

Les résultats des simulations de RBSim permettent de mettre en évidence des zones où les visiteurs se sont rencontrés (figure 13). Celles-ci sont potentiellement conflictuelles dans la mesure où la plupart des visiteurs recherchent la solitude (Gimblett & Skov-Petersen, 2008). A partir d'une autre logique menant à la spatialisation d'activités, cet exemple illustre la possibilité de recourir à la simulation spatiale pour analyser les interactions générant des conflits d'usages.

De manière générale, les approches par simulation spatiale sont celles qui permettent d'intégrer le plus de complexité spatio-temporelle dans les analyses. En effet, le recours à la simulation permet de construire des méthodologies de quantification des interactions entre usages et entre usages et ressources.

Sur la base de cette synthèse bibliographique, un bilan des approches utilisées pour l'analyse des interactions spatiales générant des conflits d'usages peut être proposé. Au sein de celles-ci, les objectifs et méthodologies sont divers et il n'existe finalement que peu d'études centrées sur l'analyse des processus d'interactions spatiales générant des conflits d'usages.

D'un point de vue conceptuel, force est de constater qu'aucun travail ne s'est attaché à formaliser un modèle de système spatial pouvant servir de trame à l'analyse spatiale des interactions spatiales générant des conflits d'usages. Aucune approche n'a permis de mettre en évidence une vision globale, prenant en compte interactions et rétroactions entre usages et ressources.

Les outils, quant à eux, semblent exister pour analyser les situations de conflits d'usages. La modélisation graphique permet de formaliser des dynamiques d'interactions. La cartographie permet de quantifier et de synthétiser la variabilité spatio-temporelle des usages et leurs interactions. La simulation spatiale apporte une intégration effective du temps et des processus d'interactions dans l'analyse. Ces outils restent cependant utilisés de manière fragmentaire, sur des thématiques et des cas d'étude précis. La reproductibilité des méthodologies présentées dans ce chapitre reste donc en partie à évaluer.

Ce constat conforte la position de recherche énoncée en introduction.

Chapitre II – Présentation de l'espace d'étude : la baie de Bourgneuf – Pays de Loire, France

Le choix de ce terrain d'étude local prend en compte différents facteurs :

- Tout d'abord, au début de ce travail, une procédure expérimentale de Gestion Intégrée des Zones Côtières se mettait en place sur le secteur. La baie de Bourgneuf a en effet été désignée en 2004 par l'Etat comme site pilote pour la mise en place d'une démarche de Gestion Intégrée des Zones Côtières (GIZC). La lettre de mission, co-signée par six ministres (Cf Annexe I), a été adressée au préfet des Pays de la Loire et au responsable de l'Association pour le Développement du Bassin Versant de la Baie de Bourgneuf (ADBVB¹⁵). La démarche a été mise en œuvre sous la houlette du Secrétariat Général aux Affaires Régionales des Pays de Loire (SGAR) et de l'ADBVB. Le territoire investi concernait la baie de Bourgneuf et son bassin versant (Annexe I). Les objectifs étaient d'adapter à l'échelle locale les concepts principaux de la GIZC et notamment l'intégration spatiale (conception des actions sur un continuum terre-mer) et l'intégration sectorielle (développement d'une approche systémique du territoire autour des interactions entre activités et entre activités et ressources). Cette démarche semblait fédérer de nombreux acteurs au sein de groupes de travail thématiques. Ces groupes apparaissaient fortement demandeurs d'expertises et d'échanges avec la sphère scientifique. Il y avait donc une demande pour la construction conjointe de processus d'évaluation des interactions spatiales entre usages et entre usages et environnement. Cette démarche a été abandonnée avant son terme et la réalisation d'une charte de territoire du fait de conflits politiques entre élus. Restent les réflexions engagées dans le cadre des groupes de travail thématiques. Elles ont, dans de nombreux cas, permis d'amorcer des discussions entre acteurs et ont en partie été réutilisées comme base de collaborations. L'investissement initial dans ces groupes de travail a donc été poursuivi par des collaborations avec différentes structures. Ainsi, sur diverses problématiques qui seront développées dans ce

¹⁵Association ayant pour objectif le suivi de la qualité des eaux et l'animation du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux sur le bassin versant de la baie de Bourgneuf. Plus d'informations sur le site de l'ADBVB : <http://www.marais-breton-baie-bourgneuf.com/>

document, c'est en partenariat avec des collectivités territoriales, des services de l'Etat et des associatifs que les études ont été menées.

- Ensuite, la baie de Bourgneuf est un espace sur lequel de nombreux enjeux sont présents. Ces enjeux sont humains et environnementaux. Ce chapitre détaille la juxtaposition ou la superposition d'usages divers avec des espaces à forte richesse biologique. Les conflits d'usages et les interactions Nature-Société sont complexes et variés sur cet espace.

- Enfin, une approche spatiale des conflits d'usages nécessite des informations géographique et statistique importantes. Celle-ci est notamment acquise ou complétée par un considérable travail de terrain, nécessitant la proximité du secteur étudié. De la même manière, la démarche partenariale entreprise nécessite un suivi dans le temps (réunions de travail) pour lequel la proximité est indispensable.

III.1 Localisation

La baie de Bourgneuf se situe sur le littoral de la région des Pays de Loire, à l'ouest de la France. Elle s'étend entre la pointe Saint Gildas et la Pointe de l'Herbaudière sur l'île de Noirmoutier (figure 14). Elle représente une superficie de 338 Km². Elle possède une ouverture océanique principale au Nord-Ouest mais a la particularité d'en avoir une secondaire au Sud, avec le Goulet de Fromentine.

Elle est bordée par 11 communes (4 en Loire Atlantique, de Préfailles aux Moutiers en Retz et 7 en Vendée, de Bouin à Noirmoutier en l'Île). L'île de Noirmoutier est reliée au continent par un pont sur le goulet de Fromentine mais également par une chaussée submersible, le passage du Gois, qui permet la traversée en voiture à marée basse.

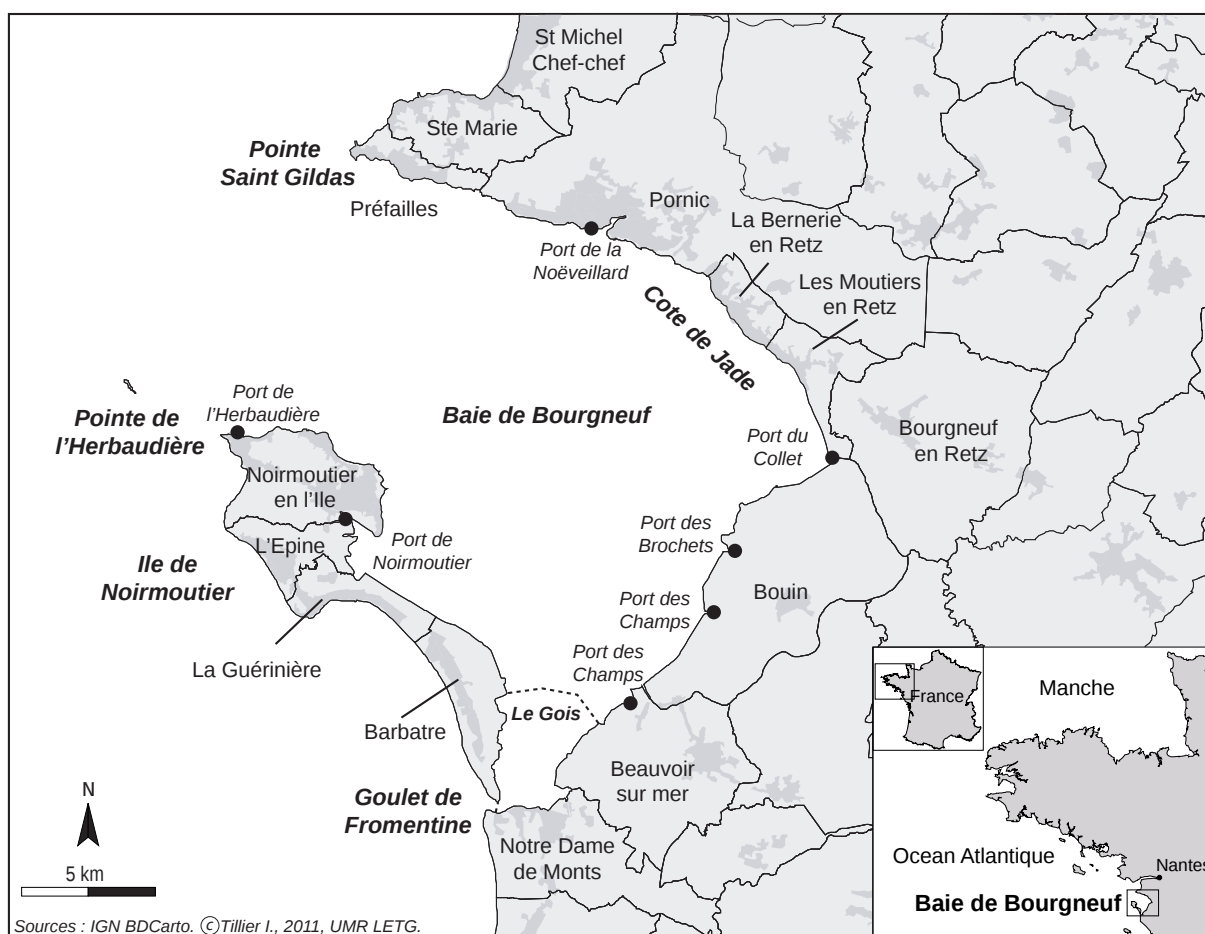


Figure 14 : Carte de localisation de la baie de Bourgneuf.

III.2 Le contexte environnemental

La baie de Bourgneuf peut être qualifiée de baie frisonne au sens défini par F. Verger, c'est-à-dire une baie partiellement fermée par une île barrière (Verger, 1968). Elle est en effet caractérisée par un fond de baie se colmatant, sur lequel s'étendent des vasières. Les schorres sont peu présents du fait de la dynamique de poldérisation de cet espace. « *Cet espace offre une grande complexité de détail* » (Vanney, 1977).

II.2.1 Elévation et Hydrologie

La baie de Bourgneuf et son bassin versant présentent de faibles amplitudes topographiques (point culminant est de 57m NGF) et bathymétriques (-22m CM) (figure 15). La baie comprend différents chenaux orientés SE/NO plus ou moins continus en fonction du colmatage sédimentaire et de la présence de seuils rocheux (banc de la

Vendette, banc de Kerouars et Roches de Bouin) (Vanney, 1977). Ces chenaux sont les vallées fluviales du Falleron et des étiers de fond de baie, reliefs hérités suite à la transgression flandrienne. La baie est également caractérisée par de grands estrans dans sa partie sud.

Différents marais (en partie issus de la poldérisation) bordent la baie stricto sensu. Ces hydrosystèmes sont complexes car ils sont composés à la fois de compartiments hydrologiques saumâtres et dulcaquicoles et sont entièrement gérés par l'Homme à travers un système d'éclusage. Ils apportent des conditions environnementales particulières et influent beaucoup sur la qualité des masses d'eau littorales (effet tampon avec absorption et/ou transformation de certains polluants) (Baud & Guillotreau, 2010).

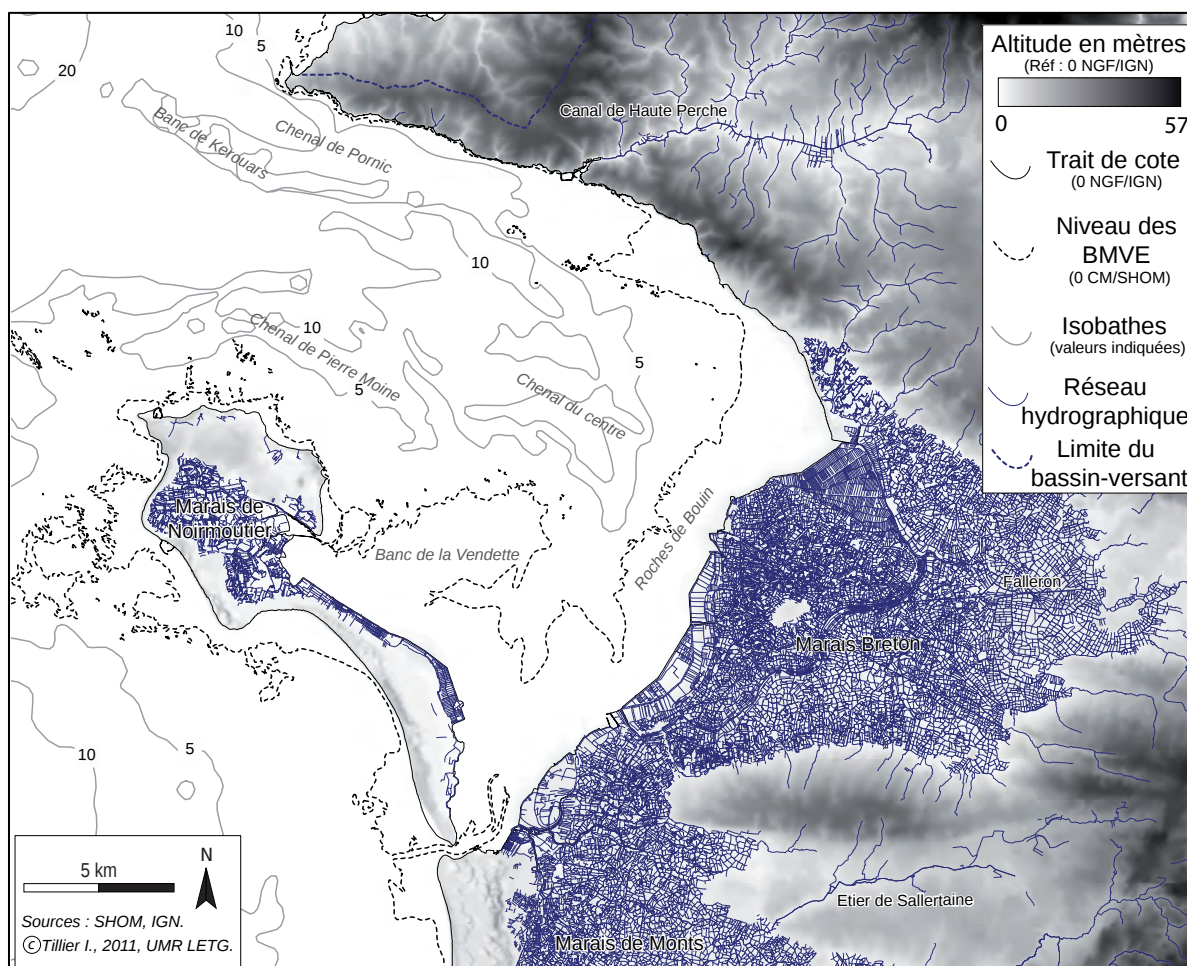


Figure 15 : Topographie, bathymétrie et hydrographie de la baie de Bourgneuf.

II.2.2 Sédimentologie et Hydrologie marine

La baie de Bourgneuf est majoritairement une zone d'accumulation (Vanney, 1977). Outre quelques seuils rocheux, la nature de ses fonds est dominée par des sédiments allant du sable grossier aux vasières (figure 16). La spatialisation de la fraction fine dans la baie est cependant difficile car celle-ci est relativement mobile en fonction des saisons et de l'état de la mer (Dussauze & al., 2009 ; Baud & Guillotreau, 2010). La sédimentologie ainsi que la qualité des eaux de la baie sont très liées aux apports de la Loire dont la Pointe Saint Gildas borne le sud de l'estuaire externe (Gouleau, 1968 ; Sanchez, 2008).

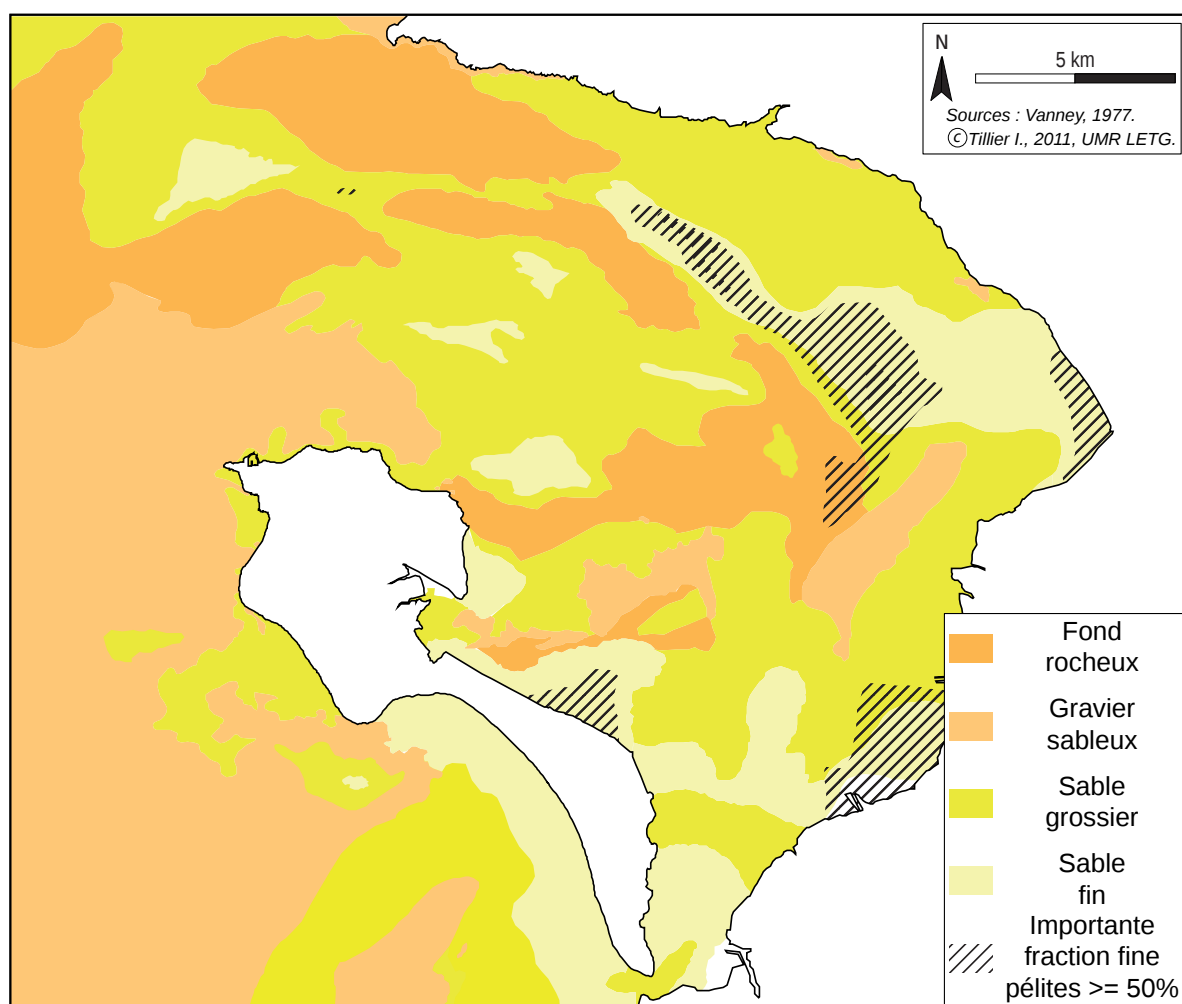


Figure 16 : Carte sédimentologique de la baie de Bourgneuf (Vanney, 1977).

L'important marnage (6,23 m entre les Plus Hautes Marées Astronomiques et les Plus Basses Marées Astronomiques¹⁶) permet le découvrément de vastes estrans. Les courants de marée associés sont aussi un facteur important de remise en suspension de la fraction fine (Grossel & al., 2001), même si celle-ci est surtout le fait de l'agitation de surface (Sanchez, 2008). Cela concourt à la forte turbidité de la Baie avec des valeurs maximales mesurées à 600mg.L-1 (Lerouxel & al., 2008 ; Dussauze & al., 2009).

L'analyse de la courantologie représentée sur la figure 17 permet également de mettre en évidence la ligne de convergence des ondes de marées venant de l'entrée nord de la baie et du goulet de Fromentine au sud (Vanne, 1977 ; SHOM, 1990). Cette zone de dépôt a permis l'édification du passage du Gois (Lacroix, 2006).

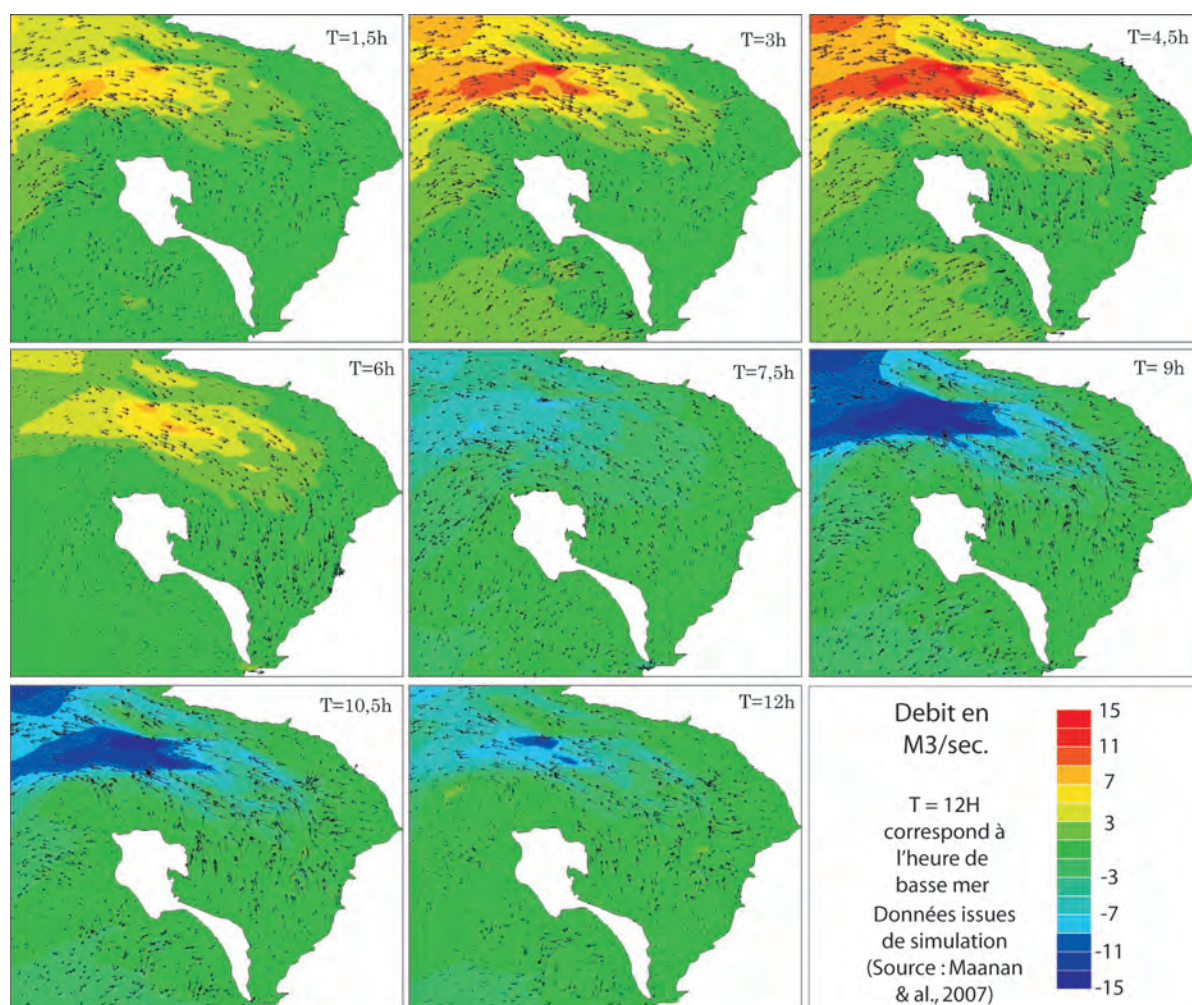


Figure 17 : Courantologie de la baie de Bourgneuf (Maanan & al., 2007).

¹⁶Source : Références altimétriques maritimes du Service Hydrographique et Océanographique de la Marine au port de l'Herbaudière, Noirmoutier en l'Île, www.shom.fr

II.2.3 Géomorphologie côtière

La baie est bordée par différents ensembles morphologiques (Corlay, 1986):

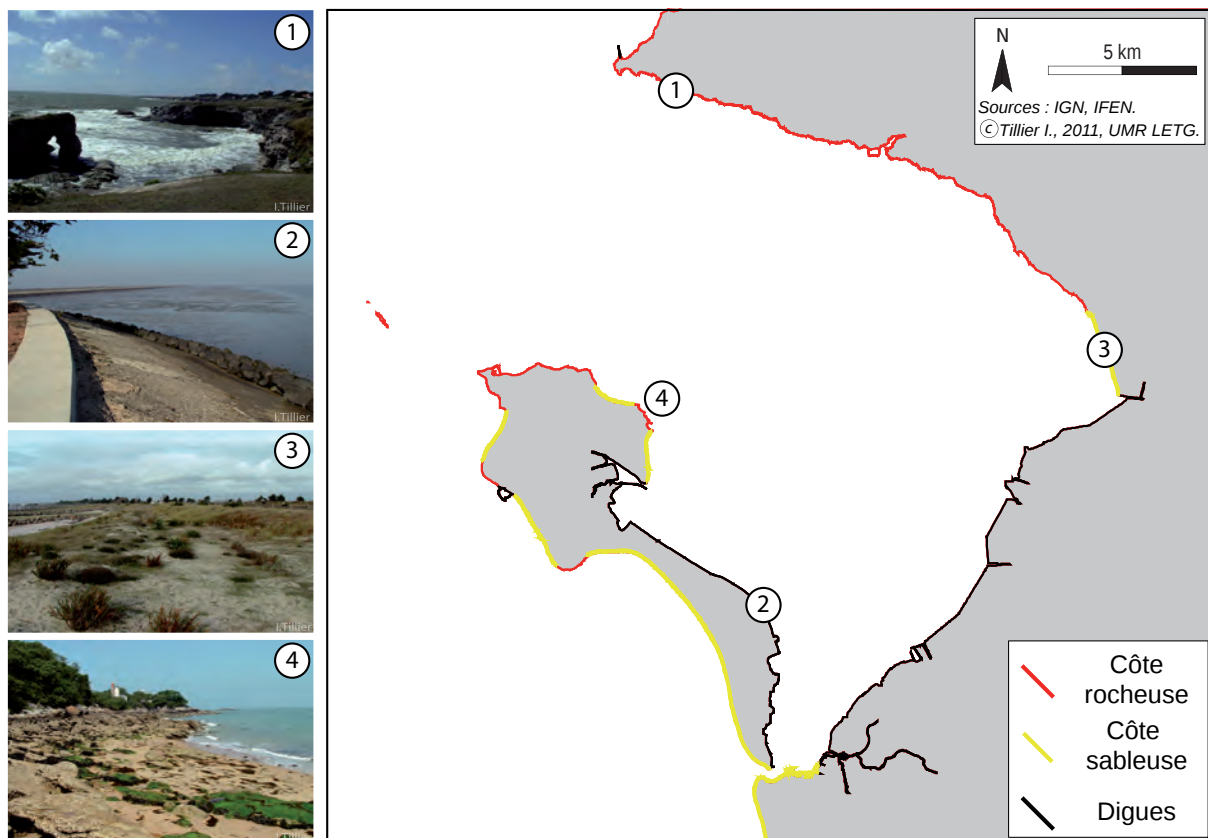


Figure 18 : Nature du trait de côte et morphologie côtière en baie de Bourgneuf.

- Les falaises schisteuses de la côte de Jade, entre La pointe Saint Gildas et la commune de la Bernerie en Retz, trahissent un front de bloc basculé vers le Sud-Est. Ces reliefs sont prolongés par des platiers rocheux entrecoupés de petites plages, qui disparaissent vers le sud au profit de larges estrans sableux à sablo-vaseux.

- Le cordon dunaire du Collet se détache de l'escarpement de la côte de Jade à proximité de la commune des Moutiers en Retz. Il est issu de la dérive sédimentaire sur les secteurs rocheux au nord. Il constitue un faible rempart contre les submersions marines du Marais Breton s'étendant au-delà, dans les terres. L'estran vaseux de ce secteur probient du comblement du fond de la baie.

- Le trait de côte du fond de la baie, entre l'exutoire du Falleron (port du Collet) et l'étier du port de Noirmoutier en l'Île est entièrement artificialisé. L'endiguement et la poldérisation ont été progressifs depuis le IX^{ème} siècle jusqu'aux années 1960

(Lacroix, 2006 ; Luquiau, 1996). Le Marais Breton, sur le continent, et les polders de partie sud de l'île de Noirmoutier s'étendent en arrière de ces défenses.

- La côte nord de l'île de Noirmoutier, plus haute et rocheuse est issue du rejeu tectonique d'un bloc. Elle présente donc des un faciès proche de la côte de Jade, à ceci près que son tracé est plus découpé, favorisant le piégeage sédimentaire.

II.2.4 Qualité des eaux

La qualité des eaux est en baie de Bourgneuf un paramètre important. En effet, de nombreux usages utilisent cette ressource. Au premier plan de ceux-ci se trouvent la conchyliculture et la pêche à pied. Ces usages sont particulièrement dépendants de la qualité, notamment bactériologique, des masses d'eau.

La qualité de l'eau en baie de Bourgneuf est globalement bonne (ADBVBB, 2011 ; IFREMER, 2011). Ainsi, la grande majorité de la baie de Bourgneuf profite d'un classement sanitaire¹⁷ des eaux conchylicoles correct (A pour l'élevage de coquillages non fouisseurs et B pour l'élevage de coquillages fouisseurs). Les quelques secteurs posant problème (classement en C) peuvent être occasionnellement délaissés en cas de pics de pollution bactériologique. Aucune contamination chimique (hors accidentelle) n'est à déclarer depuis 2000. La contrainte essentielle pour la conchyliculture (notamment l'ostréiculture) est la grande turbidité des eaux de la baie (Lerouxel & al., 2008). La problématique est un peu plus complexe pour la pêche à pied. Celle-ci est très pratiquée dans la baie, à titre professionnel comme récréatif. La qualité générale des sites est bonne (figure 19). Cependant, trois sites font parfois l'objet d'interdictions ponctuelles de pêche. Il s'agit des sites de Fort Larron, de l'Herbaudière (tous deux sur l'île de Noirmoutier) et du secteur du port Meleu à Pornic (ADBVBB, 2011).

¹⁷Le classement sanitaire des eaux conchylicoles repose sur des critères bactériologiques (concentrations en *E. coli*) et chimiques (concentrations en métaux lourds) mesurés à partir d'échantillons de coquillages pris sur sites. Plus d'informations sur : http://www.zonesconchylicoles.eaufrance.fr/zconchy/frontend_dev.php/classement_sanitaire/

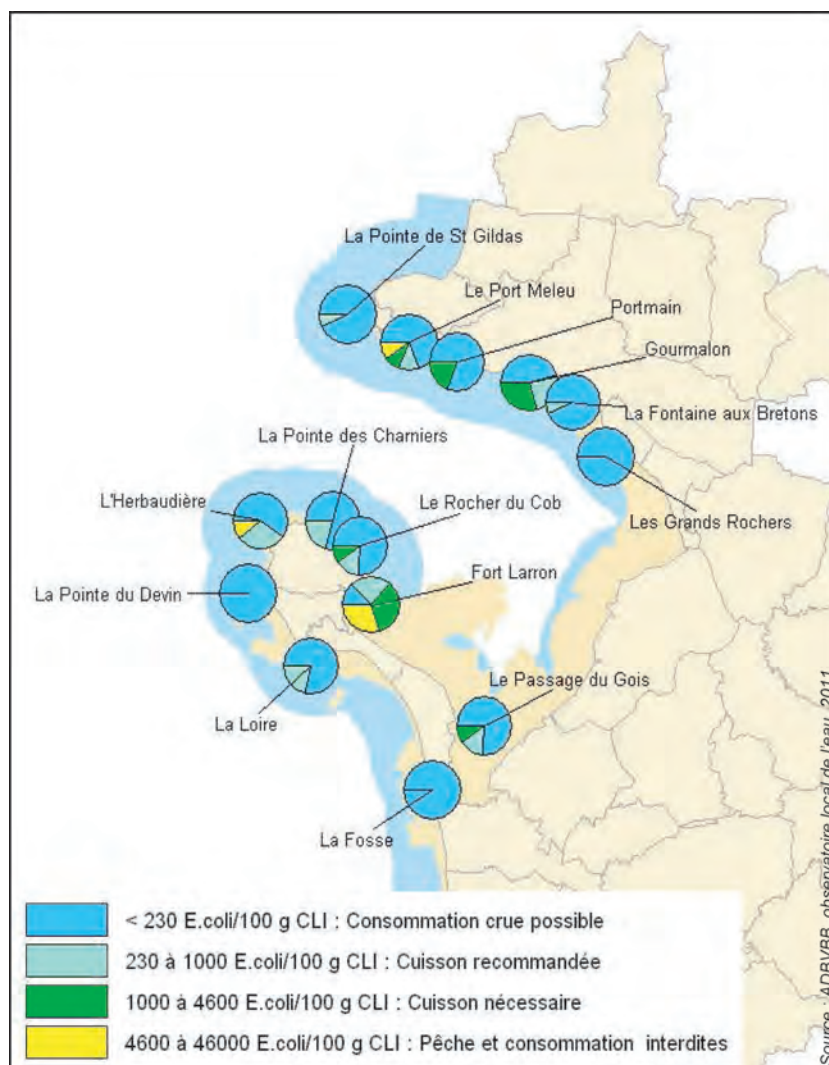


Figure 19 : Qualité sanitaire des sites de pêche à pied en 2008/2009 (Source : ADBVBB/IFREMER, 2011).

II.2.5 Patrimoine naturel

La multiplicité et la variété des zones humides en baie de Bourgneuf en font un espace riche en biodiversité. Ainsi, une grande partie de la baie, à la fois à terre et en mer est incluse soit dans des périmètres de protection, soit dans des inventaires du patrimoine naturel (figure 20). Ces zonages, issus d'initiatives ou de législations à l'échelle européenne ou nationale, reflètent notamment la grande valeur ornithologique de la baie.

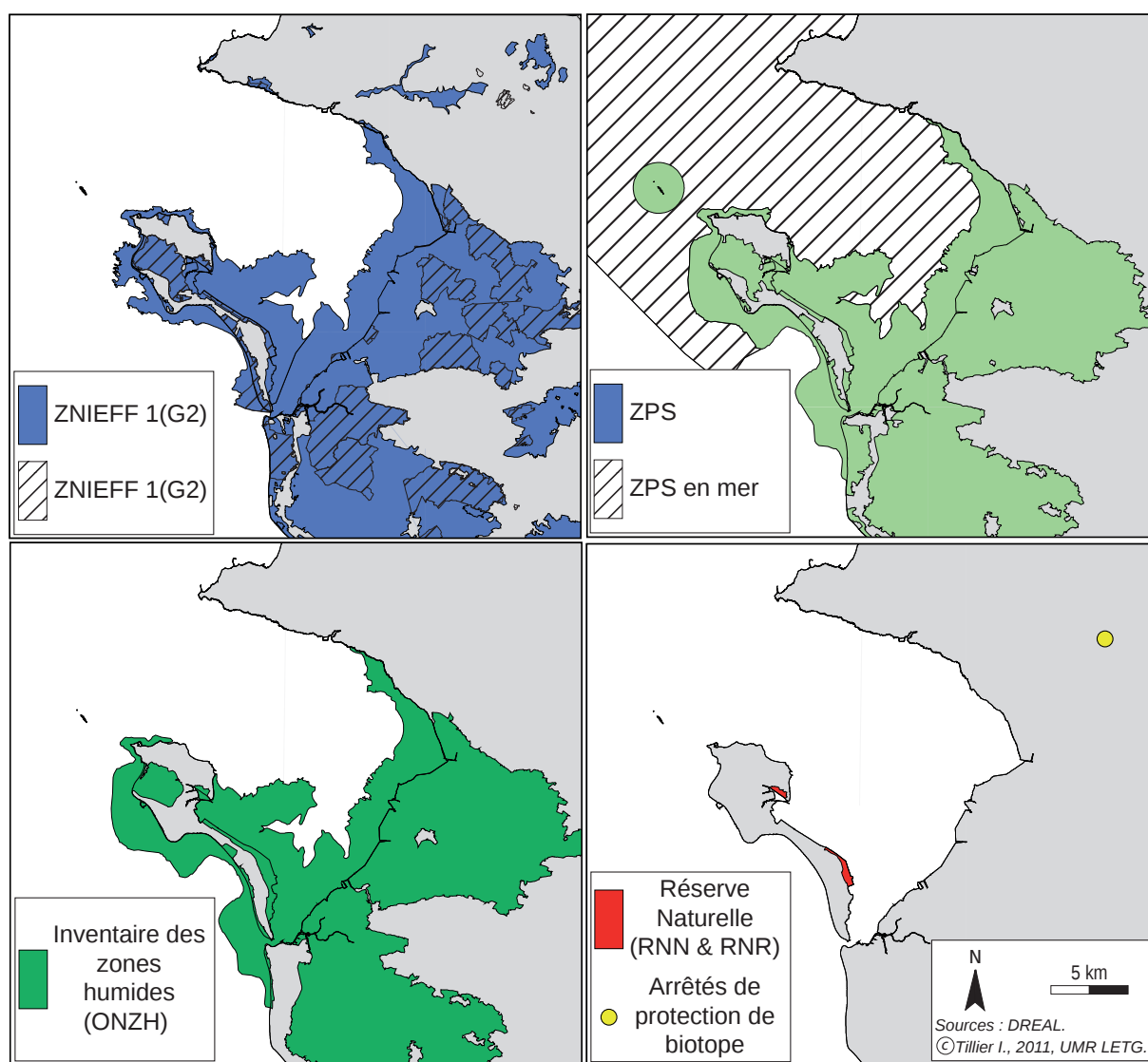


Figure 20 : Zonages de protection et inventaires du patrimoine naturel en baie de Bourgneuf.

La baie de Bourgneuf est donc un espace varié, en termes de milieux et d'enjeux environnementaux. Sa valorisation par les sociétés riveraines est soumise à différentes mutations mettant en jeu des interactions complexes entre Nature et Société. L'exemple de la déprise agricole dans le Marais Breton permet d'illustrer ce point. Les difficultés de renouvellement agricole ont produit des secteurs de marais laissés en friche, dont la gestion hydraulique n'était presque plus effectuée. Le largage aléatoire de masses d'eaux douces, notamment au printemps, a posé problème certaines années, entraînant des mortalités anormales dans les cheptels conchylicoles de la baie (SGAR-PDL, 2005).

II.3 Un espace polyfonctionnel

II.3.1 Démographie et structure de l'emploi

De la même manière que la baie est bordée par des ensembles morphologiques différents, les activités humaines et les structures socio-spatiales liées à celles-ci sont variées (Corlay, 1986 ; SGAR-PDL, 2005 ; INSEE, 2011).

Communes	Population en 2006	Densité de population en 2006	Accroissement de la population entre 1990 et 2006 (%)	Residences Secondaires en 2006 (%)
Préfaïlles	1182	252,3	37,9	75,6
Pornic	13681	148,3	39,4	44,6
La Bernerie-en-Retz	2499	413,6	36,7	63,0
Les Moutiers-en-Retz	1138	129,4	54,0	68,8
Moyenne Cote de jade		235,9	42,0	63,0
Bourgneuf-en-Retz	3027	60,8	29,0	31,3
Bouin	2206	42,8	-2,7	21,3
Beauvoir-sur-Mer	3652	105,9	11,4	14,2
Notre-Dame-de-Monts	1772	76,7	32,9	73,2
Moyenne Marais breton		71,6	17,7	35,0
Barbâtre	1710	142,7	34,8	71,5
La Guérinière	1543	192,6	10,1	75,1
L'Épine	1705	190,9	3,1	58,2
Noirmoutier-en-l'Île	4855	242,8	0,2	62,8
Moyenne Noirmoutier		192,3	12,0	66,9

Communes	Part de l'emploi dans le secteur primaire en 2008	Part de l'emploi dans le secteur secondaire en 2008	Part de l'emploi dans le secteur tertiaire en 2008
Préfaïlles	0	28,2	71,8
Pornic	2,9	15,4	81,7
La Bernerie-en-Retz	2,8	17,6	79,6
Les Moutiers-en-Retz	8,9	24,9	66,2
Moyenne Cote de jade	1,9	20,4	77,7
Bourgneuf-en-Retz	15,4	24,1	60,5
Bouin	48,7	10,7	40,6
Beauvoir-sur-Mer	5,3	40,1	54,6
Notre-Dame-de-Monts	12,7	22	65,3
Moyenne Marais breton	20,5	24,2	55,3
Barbâtre	9,1	15,8	75,1
La Guérinière	12,3	25,9	61,8
L'Épine	18,1	20,5	61,4
Noirmoutier-en-l'Île	14,5	15,9	69,6
Moyenne Noirmoutier	13,5	19,5	67,0

Source : INSEE

Figure 21 : Données démographiques et structure de l'emploi dans les communes bordant la baie de Bourgneuf.

Si le littoral de la cote de Jade et l'île de Noirmoutier sont tous deux des espaces polarisant un important tourisme balnéaire (caractérisés par une grande amplitude de fréquentation intra-annuelle, une importante proportion de résidences secondaires et une structure de l'emploi très tournée vers le tertiaire, notamment marchand (figure 21), ils se différencient par une plus grande implantation du secteur primaire à Noirmoutier que sur la côte de Jade. Cela est dû à la présence de nombreuses zones conchylicoles sur l'île et également à la culture de la pomme de terre, qui a une réelle

empreinte spatiale sur l'île. Le Marais Breton est quant à lui caractérisé par une plus grande importance du secteur primaire (agriculture extensive et aquaculture) et présente des densités de populations moindres. Les structures spatiales y sont également différentes, avec des implantations humaines plutôt en retrait par rapport au trait de côte.

II.3.2 Occupation du sol

Ces trois ensembles sont également observables à travers l'occupation du sol.

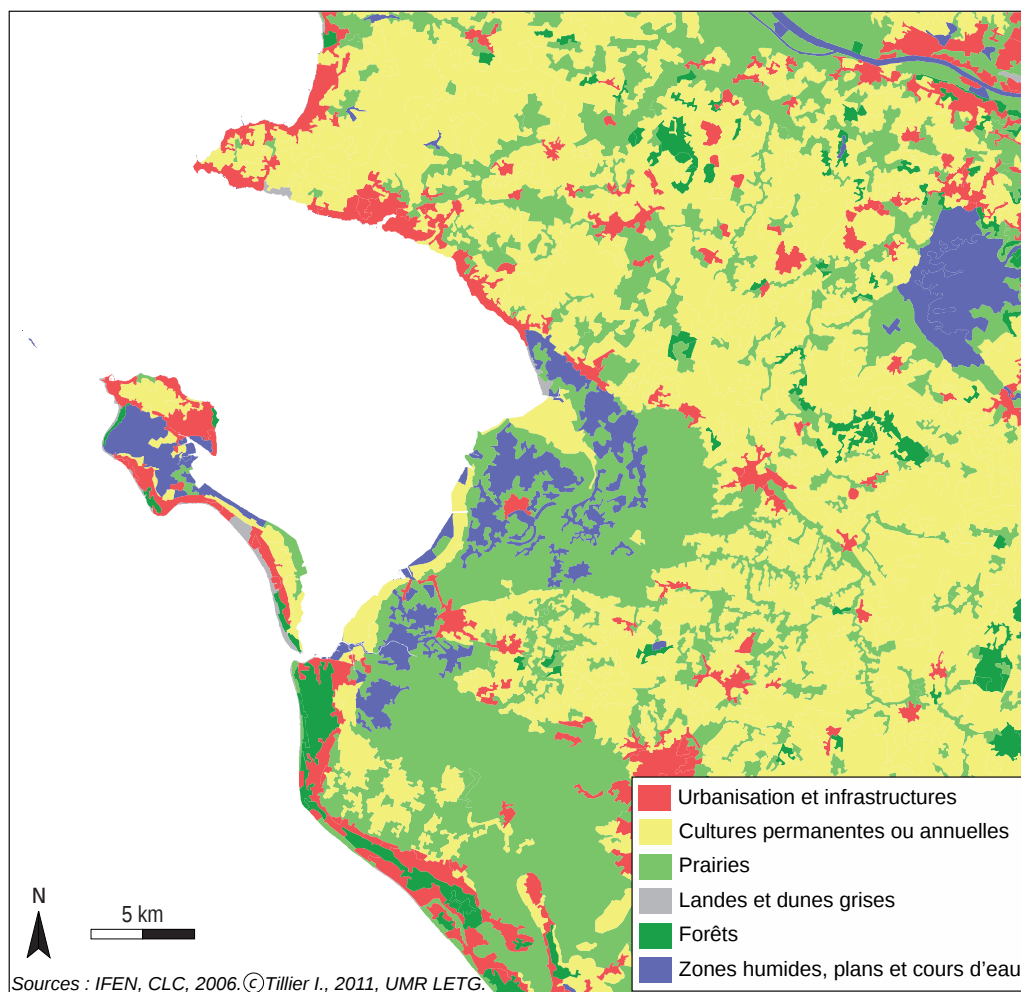


Figure 22 : Occupation du sol.

La figure 22 permet ainsi de visualiser l'importante urbanisation littorale de la côte de Jade et de l'île de Noirmoutier. L'habitat est clairement plus dispersé dans le Marais Breton. On peut aussi noter l'étendue des prairies et des zones humides dans ce même secteur, éléments supports de l'élevage bovin extensif. Les hauts de la côte de Jade

sont quant à eux valorisés majoritairement par des cultures annuelles, les prairies pérennes y sont rares. L'île de Noirmoutier présente un mode d'occupation du sol mixte du fait de sa topographie et des risques de submersion marine. Les zones « hautes » sont fortement urbanisées (commune de Noirmoutier en l'île notamment) alors que les polders de la côte Est ont une vocation agricole (cultures annuelles ou prairies dans les secteurs humides) et la frange Sud-Ouest est un secteur occupé par une dune boisée assez large (commune de Barbâtre).

II.3.3 Conchyliculture et pêche à pied

La richesse et la variété des éléments de nature décrits précédemment n'ont pas seulement mené au développement d'activités à terre. Les potentialités biologiques (baie peu profonde et riche en nutriments) de la baie stricto sensu ont également permis le développement de la pêche et de l'aquaculture.

La filière aquacole est essentiellement regroupée autour de la conchyliculture et des activités annexes (écloseries, construction et vente de matériel professionnel, commercialisation, etc.). La baie de Bourgneuf est un bassin ostréicole de moyenne importance en France (10 000 tonnes produites annuellement soit 7,8% de la production nationale (CNC, 2009)). Bien que certaines entreprises aient une activité mytilicole, celle-ci est très marginale et s'effectue surtout en dehors de la baie. L'élevage de coquillages s'effectue techniquement de manière classique, sur tables surélevées sur l'estran. Les différentes phases de croissance sont majoritairement effectuées dans la baie. Seule une partie des professionnels possédant des concessions dans des bassins autres, notamment nord-bretons, effectuent des migrations inter-bassins. La particularité de la baie ne vient pas d'éléments techniques mais de sa très faible productivité. Il s'agit d'une baie très riche en nutriments mais également très turbide, ce qui est une limite notable aux croissances des animaux (Lerouxel & al, 2009 ; Haure & al., 2008). Cette faible productivité a amené les professionnels à utiliser des espaces considérables dans la baie pour compenser, par la taille, les faibles rendements (figure 23). Cette dynamique n'est pas sans poser problèmes. En effet, depuis quelques années, la situation de saturation et de dépassement de la capacité trophique est avérée. Des conflits avec d'autres usages pour l'occupation de l'estran sont également présents. Une restructuration du parcellaire conchylicole est en cours.

La pêche à pied est également une activité très importante en baie de Bourgneuf. Outre les quelques 454 licences professionnelles délivrées par le COREPEM sur l'année 2010, la pêche à pied de loisirs est très développée. Le survol aérien effectué par IFREMER en 2009 a permis de comptabiliser 2780 pêcheurs sur les estrans de la zone (Ratiskol & al., 2011). Le site du passage du Gois peut concentrer jusqu'à 1500 pêcheurs lors des marées les plus fréquentées. Cet usage et ses interactions avec l'environnement littoral (ressources en coquillages et avifaune essentiellement) restent cependant peu connus. La pêche à pied présente en effet une grande variabilité spatio-temporelle des pratiques dans l'année, rendant la quantification des impacts difficiles.

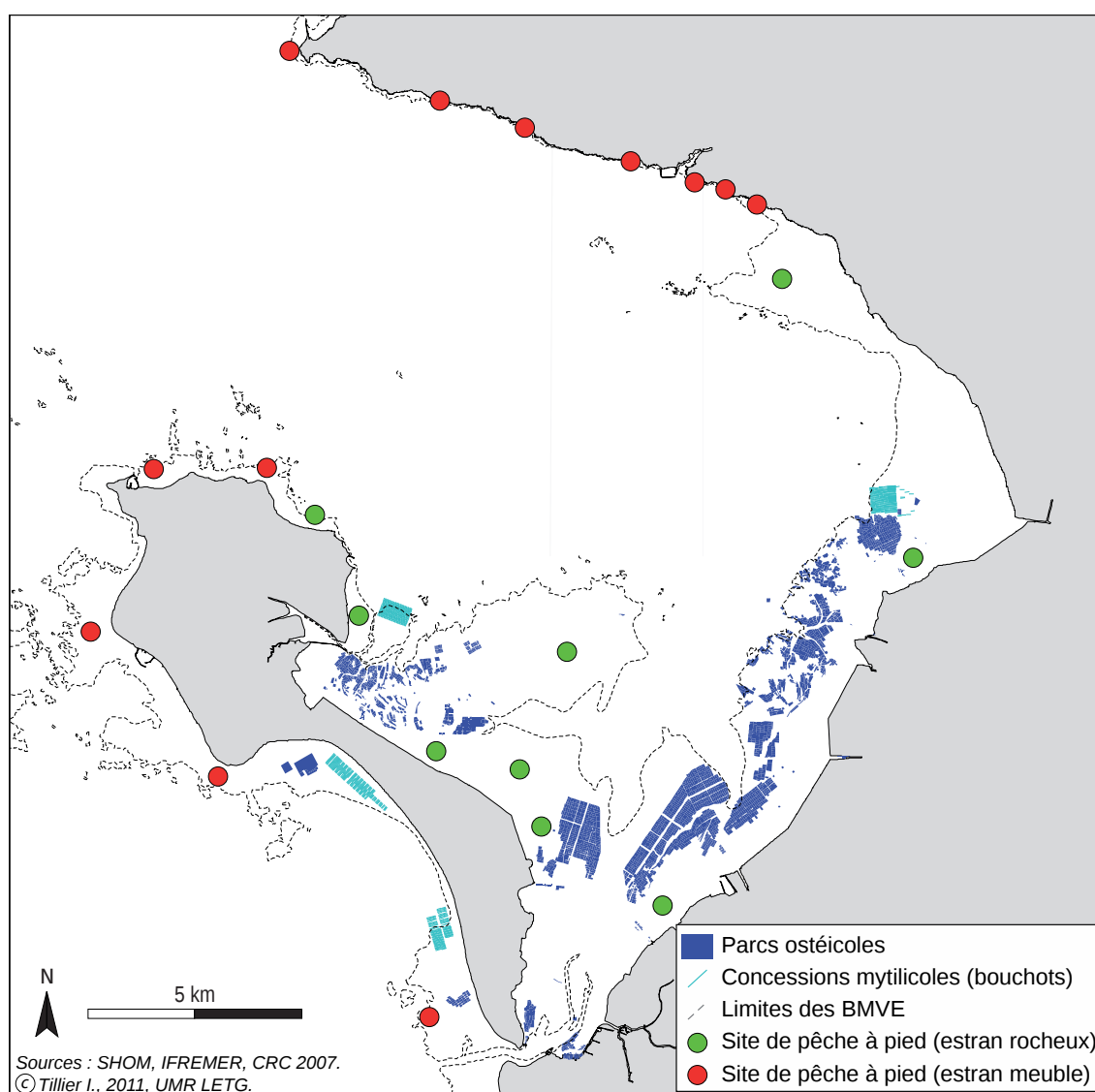
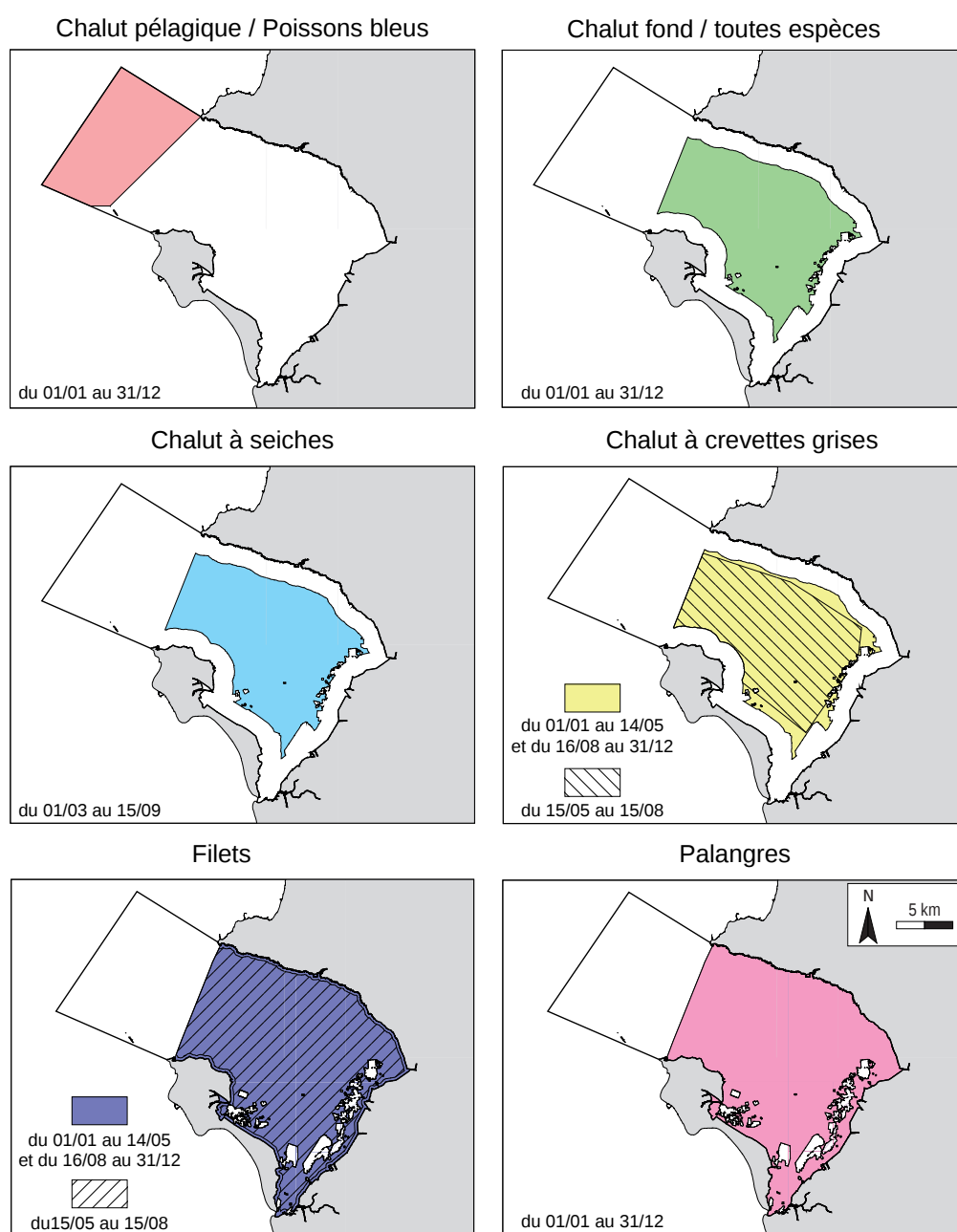


Figure 23 : Cartographie des concessions conchylicoles et des principaux sites de pêche à pied en baie de Bourgneuf.

II.3.4 La pêche en mer et la plaisance

L'activité de pêche est également très présente en baie de Bourgneuf. Il s'agit d'une petite pêche pratiquée par une flottille d'une centaine de navires pour la plupart multi-engins, s'adaptant saisonnièrement aux différentes espèces présentes dans la baie (sole, bar, congre, seiche, crevette grise et civelle dans les étiers (figure 24)) (COREPEM, 2008). Il est à noter que le secteur ne possède que peu d'infrastructures portuaires importantes. Il y a deux ports à flot principaux : Pornic et l'Herbaudière à Noirmoutier et des ports d'échouage dans les étiers du fond de baie.



Sources : SHOM, 2009, AGLIA - COREPEM, Cartographie de la réglementation des pêches professionnelles, Mars 2011. Textes de loi référents : Arrêté (AP) n°1683 du 03/06/1982, Arrêté (DRAM) n°93/DRAM/1009 du 14/09/1993, Arrêté (AP) n°13/2010 du 25/01/2010. © Tillier I., 2011, UMR LETG.

Figure 24 : Zonages réglementaires de pêche en baie de Bourgneuf.

La baie de Bourgneuf est enfin un site remarquable pour les activités de plaisance et de pêche-plaisance. Il s'agit en effet d'un espace relativement fermé et généralement peu dangereux pour la navigation de plaisance. Le nautisme léger y est donc fortement implanté, notamment sur l'île de Noirmoutier et le secteur de Pornic avec la présence de ports de plaisance importants et de différentes écoles de voile. L'ensemble de la baie est fréquenté par la plaisance (figure 25), mais certaines zones sont utilisées de manière plus intensive. Ce sont les espaces proches du rivage, les abords des ports et les routes de navigation principales. Cependant les saisonnalités d'usage de ces différents espaces ne sont pas les mêmes. Les espaces situés à moins d'un mille du rivage sont par exemple plutôt dévolus au nautisme léger (dériveurs notamment), essentiellement pratiqué en saison estivale, alors que les chenaux de navigation et les routes intra baie (Pornic – Noirmoutier Herbaudière) sont utilisés toute l'année. La pêche en mer de loisirs est saisonnièrement une pratique importante, bien que difficilement quantifiable.

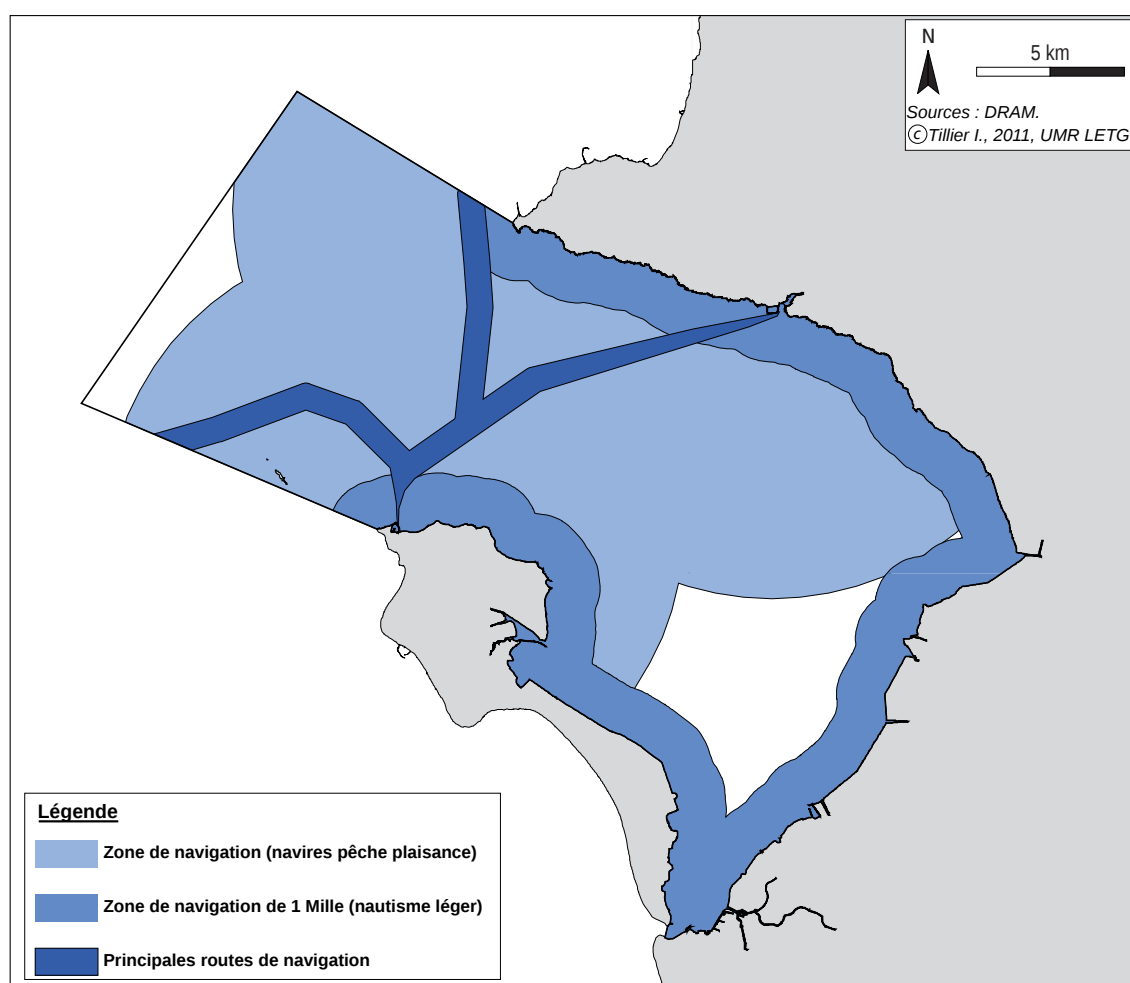


Figure 25 : Cartographie de l'activité de plaisance en baie de Bourgneuf.

La baie de Bourgneuf est un espace sous contraintes. Ces contraintes sont issues à la fois de son contexte environnemental (milieux fragiles à forts enjeux patrimoniaux et fortes interactions terre-mer) et de la multiplicité des usages qui y sont implantés. Les interactions Nature-Société et les conflits d'usages liés à celles-ci adoptent des inscriptions spatiales et temporelles diverses. Leur compréhension nécessite une phase de formalisation.

Chapitre III – La formalisation de l'espace et des interactions spatiales

Le chapitre précédent a permis de présenter les enjeux de notre zone d'étude. La complexité des interactions Nature-Société et des relations entre usages y génère de nombreux conflits. En s'appuyant sur le cadre d'analyse décrit en introduction, ce chapitre III a pour but de développer une analyse et des méthodes de formalisation de ces interactions spatiales. Le but est de créer une structure d'analyse autour du concept de système spatial. Cette structure s'appuie sur l'analyse de cas en baie de Bourgneuf et l'utilisation d'une démarche conceptuelle normalisée (formalisme). Cette structure mobilise différents outils facilitant l'intégration de connaissances.

III.1 La nécessaire formalisation d'un système spatial complexe

III.1.1 Le constat d'une grande complexité spatiale

Une rapide analyse spatiale montre la grande densité des usages et la superposition/juxtaposition d'usages ayant des pratiques potentiellement antagonistes. Sur la figure 26, cartographie non exhaustive d'usages sur la partie médiane de l'île de Noirmoutier, on peut observer, par exemple, diverses configurations spatiales potentiellement conflictuelles. Qu'il s'agisse de la proximité de la réserve naturelle du Müllembourg avec les campings de la pointe du Fort Larron ou encore de la présence de mouillages forains dans des zones de baignades, des problèmes de voisinage se posent.

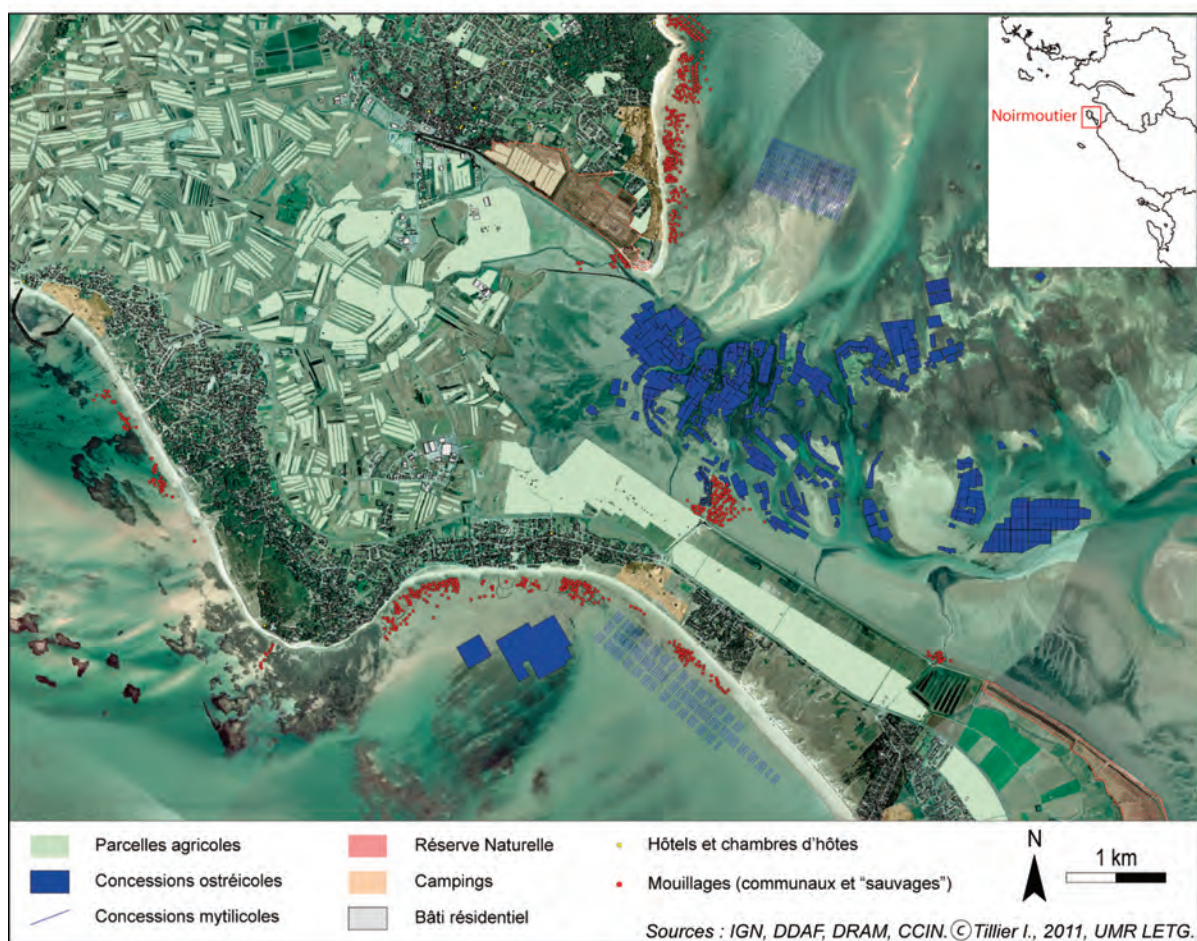


Figure 26 : Cartographie d'usages sur un secteur de l'île de Noirmoutier.

Différents cas de conflits avérés existent sur le secteur :

- A proximité du Port du Bonhomme, sur la côte Est de l'île de Noirmoutier, se tient un conflit récurrent entre conchyliculteurs et plaisanciers. Comme on peut le voir sur la figure 27, sur ce secteur sont superposés deux usages : d'une part un site de mouillage pour les plaisanciers (échouage sur estran de navires (type pêche-plaisance essentiellement) mis « à la bouée ») et, d'autre part, un espace sur lequel des concessions conchylicoles sont implantées. Le conflit est issu de l'aménagement par les conchyliculteurs de passages remblayés sur l'estran (sablo-vaseux). Cela leur permet de circuler avec leurs engins (tracteurs) depuis la mise à l'eau du port vers leurs sites de production. Ces passages sont régulièrement entravés par l'échouage des navires (en fonction des vents qui orientent l'échouage depuis les corps-morts). Cela provoque des risques d'embourbement des engins devant les éviter et la colère des conchyliculteurs. Ce conflit, très localisé, est saisonnier car peu de ces navires restent au mouillage toute l'année mais est très intense en été, (Tillier, 2007 ; Tillier, 2010).

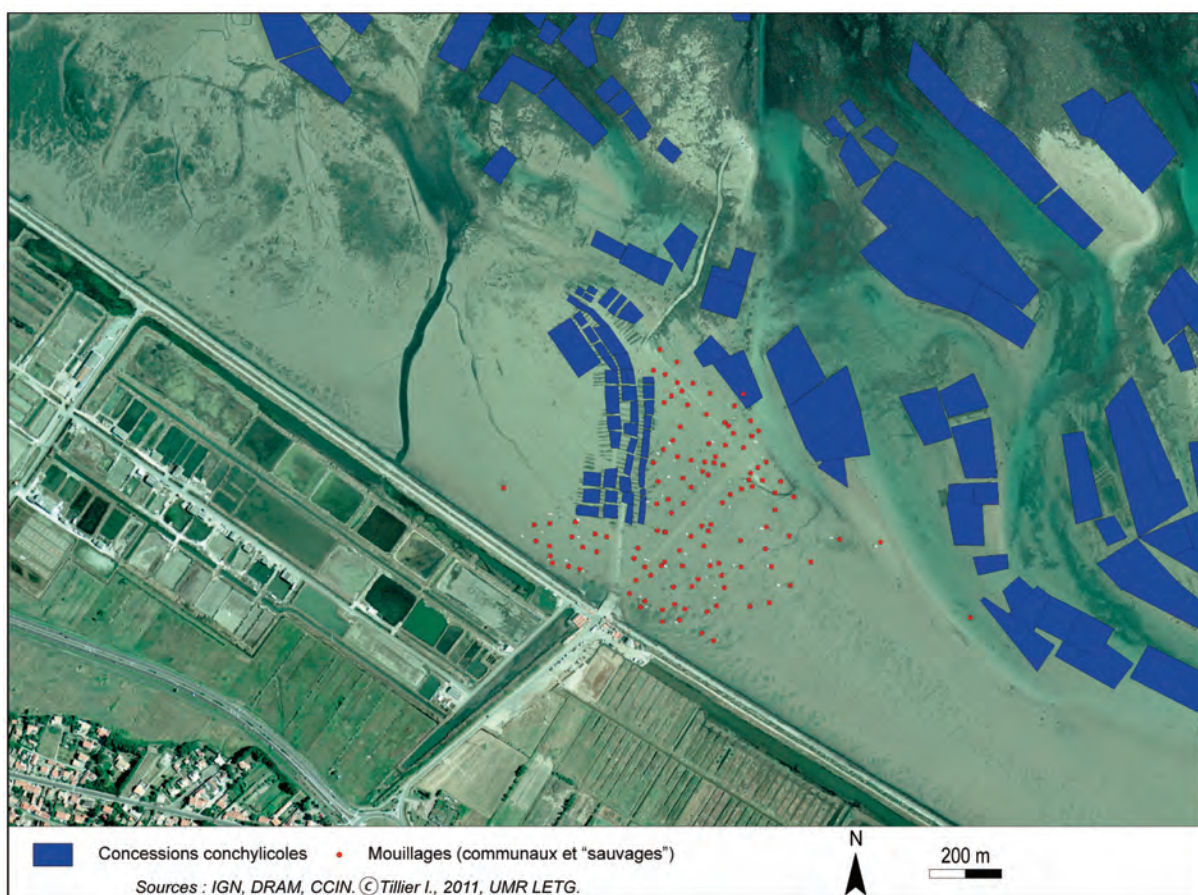


Figure 27 : Secteur du port du Bonhomme, côte est de Noirmoutier (interactions entre mouillages forains et passages d'engins ostréicoles).

- Toujours sur la côte Est de l'île de Noirmoutier, une autre interaction spatiale générant un conflit peut être observée. Celui-ci met en jeu l'utilisation d'une ressource, l'eau, par différents groupes d'acteurs : conchyliculteurs versus touristes (représentés par les gestionnaires, les collectivités locales). En effet, ce secteur se situe immédiatement à l'aval des exutoires conjoints des étiers des Coëfs, du Moulin, de l'Arceau et du Ribandon qui drainent une grande partie du Nord de l'île (figure 28). Leurs bassins versants comprennent des zones très fortement urbanisées comme l'agglomération de Noirmoutier en l'île mais aussi des zones agricoles (culture intensive de la pomme de terre). Ces usages continentaux génèrent de fortes pressions azotées, phosphorées et microbiologiques sur le bassin versant. La dispersion de ces pollutions dans la mer côtière est problématique du point de vue de la qualité sanitaire des productions marines (figure 29). Les sources probables de pollution sont l'insuffisance de capacité de traitement des eaux usées par la station d'épuration lors des pics estivaux de fréquentation et le non raccordement d'un quartier de Noirmoutier en l'île au réseau d'assainissement collectif (exutoire dans l'étier de Ribandon). Les

antagonismes en termes d'acteurs se situent donc entre les conchyliculteurs et les responsables de la communauté de Communes (compétents sur l'assainissement).

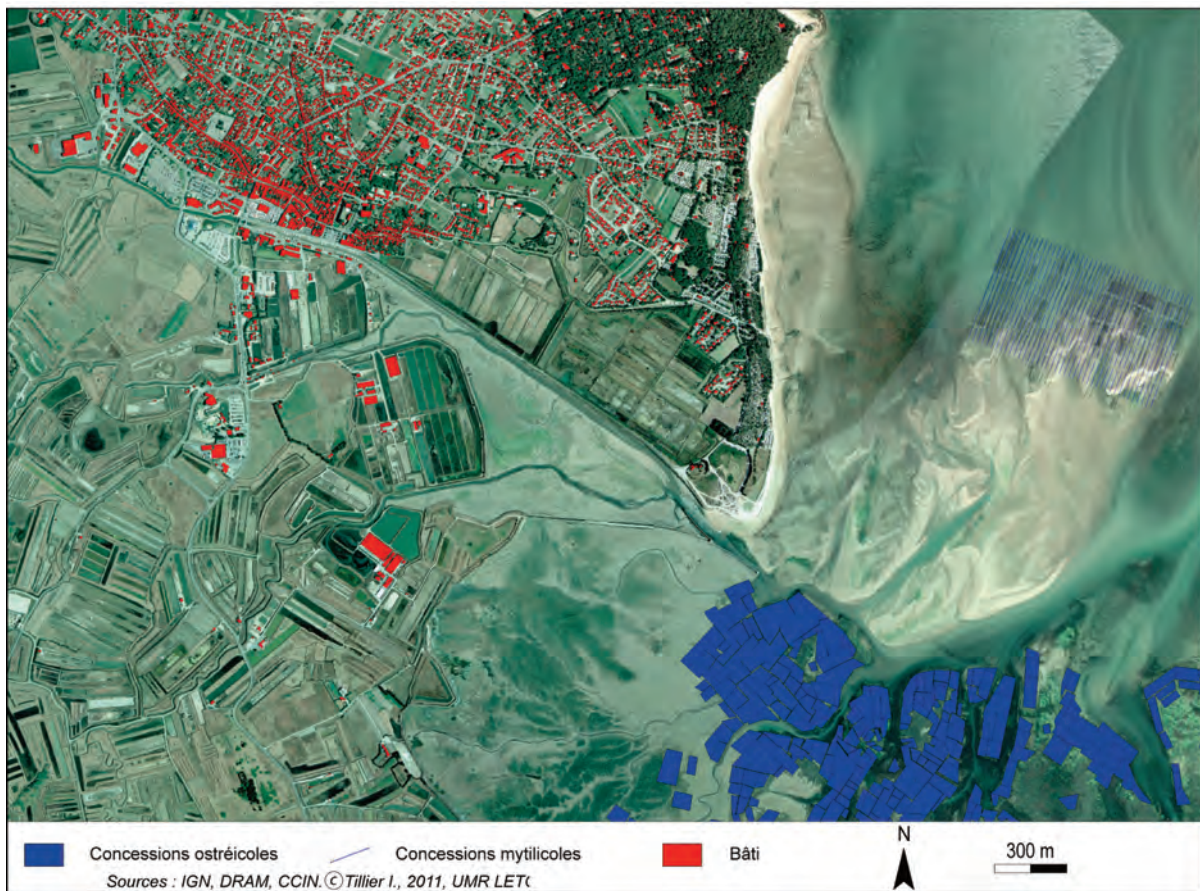


Figure 28 : Secteur de la pointe du Fort Larron, côte est de Noirmoutier (interactions entre urbanisation et concessions conchylicoles / pêche à pied via la qualité de l'eau).

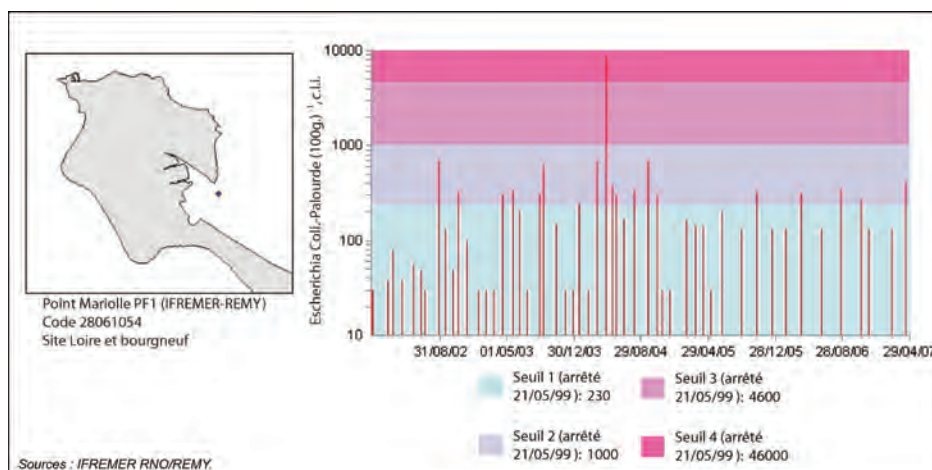


Figure 29 : Concentrations en *Escherichia Coli-Palourde* (100g.-1, c.l.i.), sur le secteur de pointe du Fort Larron (IFREMER/REMY).

L'analyse de ces quelques cartes montre la densité des usages et la complexité des relations spatiales que ceux-ci entretiennent. Si à l'échelle de la figure 26, on « devine » simplement ces multiples interactions, les deux études de cas présentées avec les figures 27, 28 et 29 illustrent parfaitement le rôle de l'occupation de l'espace et de l'utilisation des ressources dans la production de conflits d'usages.

A une échelle très fine ces interactions peuvent être partiellement explicitées, mais pour construire une analyse territoriale apte à la détection de conflits d'usages potentiels, il convient de définir des archétypes de relations spatiales problématiques (Tillier & Robin, 2008). Dans cette perspective, nous allons donc chercher, à partir d'une généralisation des études de cas, à formaliser un système représentant les possibles interactions spatiales à l'origine des conflits d'usages. En termes méthodologiques, cette démarche s'appuiera sur une analyse systémique transcrite dans un formalisme standardisé de modélisation conceptuelle.

III.1.2 Définitions et objectifs de la modélisation conceptuelle

Le terme de modélisation conceptuelle, originaire des Sciences de l'Informatique, désigne la phase de conception de processus logiciels ou de bases de données (Muller & Gaertner, 2000). Il s'agit de la synthèse de concepts et d'une analyse d'un système, transcrite sous la forme de modèles graphiques normalisés. Ce processus de formalisation s'appuie chez les informaticiens sur des langages qui seront présentés dans les pages qui suivent. Là où notre démarche diffère de celles menées pour la conception de logiciels, c'est dans l'approche de l'objet d'étude. Si la conception d'un système informatique démarre ex nihilo, les modélisations que mènent les géographes sont issues de l'analyse d'un objet d'étude. Il s'agit de la conceptualisation et de la simplification de structures et processus spatiaux observés. Cette démarche a pour but la représentation et la partage de l'analyse. Dans notre cadre, les objectifs sont de définir la structure du système spatial de production des conflits d'usages et de l'exprimer dans un formalisme graphique normalisé et simple, à même de faciliter la communication entre différents partenaires d'un même projet.

Si les démarches de modélisation conceptuelle normalisée sont utilisées en géomatique, elles sont rarement mises en œuvre dans des objectifs de multi-exploitation. Par multi-exploitation, on entend à la fois la conception d'un modèle de

système spatial ayant une valeur intrinsèque, mais également un modèle qui puisse servir de support à des représentations à base d'information géographique, voire à des modèles de simulation. En termes d'exploitation, on peut donc différencier des formalisations de structure spatiale pouvant mener à la constitution de bases de données relationnelles (pertinentes pour la structuration de base d'information géographique) et des formalisations de structures et de dynamiques (temporelles) ayant pour but la conception des modèles de simulation. Dans ce chapitre, il n'est pas directement question des exploitations possibles d'un modèle conceptuel. Il est par contre question de méthodologies et de leurs mises en œuvre pour la conception d'un modèle conceptuel du système spatial de production des conflits d'usages.

III.2 Les concepts et méthodes de modélisation conceptuelle

Cette section présente les méthodes et formalismes utilisés en Géographie pour la modélisation conceptuelle. Les formalismes existants présentent a priori une grande diversité mais ont néanmoins des points de convergences expliquant l'émergence des approches orientées objets.

III.2.1 Différents formalismes

III.2.1.a La méthode hypergraphique

Il s'agit d'une méthode ayant émergé très tôt. En effet dès 1977, « en s'appuyant sur l'intégration de la théorie des ensembles et de la théorie des graphes, Bouillé ouvrit une piste neuve pour construire des structures de données prenant en compte à la fois la globalité du ou des phénomènes traités, l'essence et l'existence des objets décrivant ces phénomènes, des attributs décrivant ces objets ainsi que leurs relations, le tout selon une formalisation graphique explicitant clairement les référents de base du chercheur » (Saint Gérard, 2005).

La méthode Hypergraph Based Data Structure ou HBDS adopte une démarche hypothético-déductive tendant à structurer un modèle conceptuel à partir de l'observation d'un phénomène étudié et de sa position dans des systèmes de plus grande et plus petite échelles (Bouillé, 1977 ; Saint Gérard, 2002). HBDS repose sur

quatre concepts fondamentaux que sont les objets, les classes, les attributs et les relations. Ceux-ci deviennent respectivement en terminologie hypergraphique, les sommets, classes, valuations et liens. En effet, outre la méta-méthode proposée par HBDS, un formalisme graphique propre a été développé, il est présenté ainsi que les correspondances terminologiques dans la figure 30.

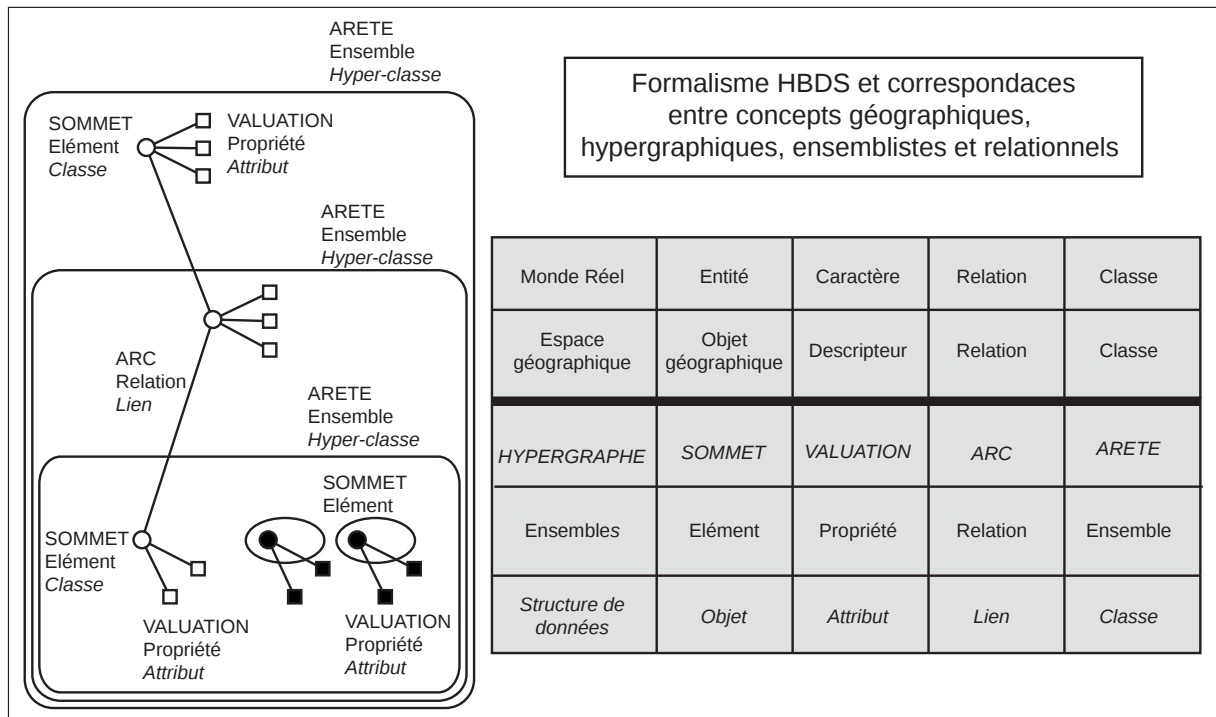


Figure 30 : Formalismes HBDS et correspondances entre concepts géographiques, hypergraphiques, ensemblistes et relationnels (Saint Gérard, 2005).

HBDS présente un intérêt, notamment par sa capacité à « [...] à préserver le lien organique entre le processus de représentation mentale et le processus de modélisation informatique » (Saint Gérard, 2005). Mais cette méthode se heurte à plusieurs difficultés. La première est le haut niveau d'abstraction de la méthode. La deuxième est la faible utilisation de cette méthode. Celle-ci est liée au développement des méthodes Orientées Objet depuis les années 1990. Cette méthode trouve donc encore un cadre d'application essentiellement dans le milieu de la Recherche mais semble plus difficile à mettre en œuvre dans un cadre d'applications partagées avec des acteurs multiples.

III.2.1.b Le formalisme Entité-Relation

Apparu comme HBDS dans les années 1970, ce formalisme est issu de la recherche informatique en structuration de base de données. P. Chen (Chen, 1976) pose ainsi les fondements d'un langage de conception original. Comme le note D. Pantazis (Pantazis, 2006), « *L'idée de base du modèle E/R [...] tient au fait que l'on peut décrire tout état d'une réalité par la collection des propriétés des entités et des associations qui la composent* ». Les concepts sous-tendant ce langage s'organisent donc autour des concepts suivants :

- L'entité modélise un ensemble d'objets de même nature sémantique. Un objet est une instance d'une entité. Une entité est définie par un nom et un ensemble de champs attributaires contenant des valeurs pouvant varier suivant les objets.

- La relation représente un ensemble d'associations entre des instances d'entités. L'existence de la relation est conditionnée par l'existence des instances d'entités qu'elle associe.

- Les cardinalités représentent pour chaque couple E/R, les nombres minimum et maximum d'occurrences de la relation entre instances d'entités. On note graphiquement les cardinalités sur le lien de la relation, qualifiant ainsi la participation à la relation.

Le formalisme graphique associé à ces concepts est présenté dans la figure suivante (figure 31) qui se lit donc : « Un conchyliculteur élève plusieurs coquillages » et « Un coquillage est élevé par un à plusieurs conchyliculteurs ».

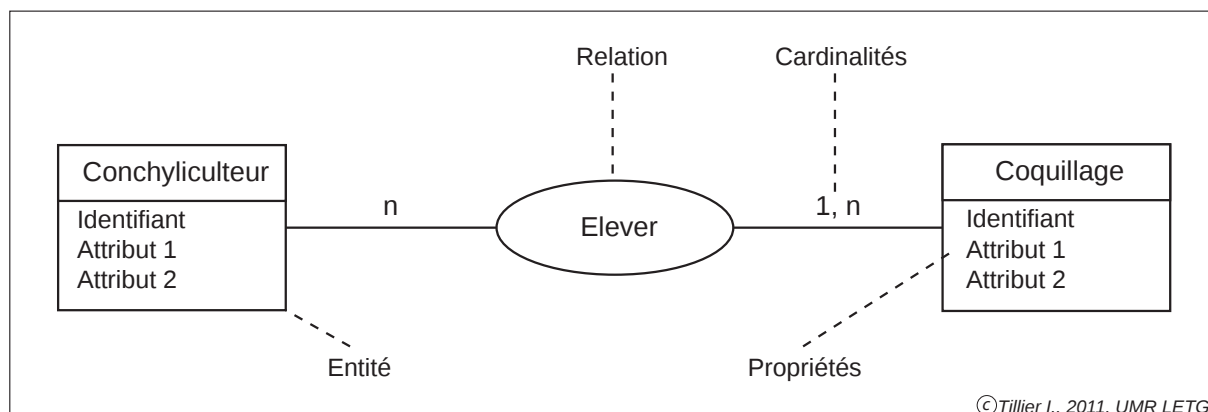


Figure 31 : Le formalisme graphique Entité - Relation.

Dans sa version originale, le formalisme Entité – Relation permet donc de représenter une structure de l' « ensemble des possibles », en termes de relations entre entités, reposant sur une analyse systémique. Cela permet de décrire finement les entités et les relations de manière générale.

Néanmoins, suite au constat de la difficulté de mise en œuvre de l'E/R pour des systèmes d'information, de nombreux chercheurs en sciences de l'information géographique ont contribué à son enrichissement pour la modélisation de systèmes spatiaux (notamment dans un objectif de conception de bases de données à références spatiales). L'enrichissement du formalisme a essentiellement consisté en l'intégration de différents concepts de l'approche « Orientée Objet » (gestion des relations de composition, de hiérarchie...) et l'ajout de paramètres de spécifications spatiales (Caron, 1991 ; Caron & al., 1993 ; Gayte & al., 1997 ; Parent & al., 2006).

III.2.2 Les méthodes Orientées Objets

III.2.2.a Présentation

« *L'approche objet s'appuie sur la perception d'entités (exemple une parcelle ou un propriétaire) du monde réel dont on peut donner une représentation en termes de structure et de comportement* » (Claramunt & al, 1997). Elle apparaît ainsi adaptée à la formalisation de systèmes spatiaux car ses principes sont proches de l'analyse développée par les géographes au sens de Lévy et Lussault pour lesquels un objet géographique est « *un construit cognitif permettant d'appréhender un phénomène spatial* » (Lévy & Lussault, 2003). Le fait de formaliser des objets concrets (ou abstraits) que l'on est habitué à manipuler semble en tout cas plus adapté aux approches géographiques que par exemple les approches logiques et les approches fonctionnelles (Pantazis & Donnay, 1996 ; Muller, 2007).

Ainsi, depuis le début des années 1990, a émergé un formalisme faisant la synthèse d'un certain nombre de méthodes « Orientées Objet » (Booch & al., 1998 ; Muller, 2007) au sein d'une approche unifiée : l'Unified Modeling Language (UML). L'ancrage de l'UML sur une structure de normalisation (OMG) a permis d'inscrire ce langage dans la durée et a contribué à son succès.

Les principes et le graphisme de ce formalisme présentent des similitudes avec celui décrit pour Entité/Relation. Il s'agit en effet de représenter l' « ensemble des possibles » dans un système en termes de relations entre objets de base, à l'échelle la plus atomique (Muller & Gaertner, 2005). UML repose donc sur quelques concepts fondamentaux et un formalisme graphique (figure 32) :

- L'objet : c'est une unité atomique, encapsulée, présentant une unité sémantique interne très forte et un faible couplage avec l'extérieur. Il est caractérisé par un identifiant, des attributs décrivant son état et une liste d'opérations qu'il peut mettre en œuvre suite à des relations avec d'autres objets. Un objet est une instance d'une classe.

- La classe, sous entendu classe d'objets, est une collection abstraite d'objets (même principe que les entités du formalisme E/R).

- Les associations entre classes sont les potentielles relations entre objets instanciés. On peut différencier les associations simples, qui sont qualifiées par un verbe et des cardinalités, des associations plus complexes parmi lesquelles les relations hiérarchiques dites de généralisation/spécialisation (ascendance/descendance) et les relations de composition (le composite ne peut exister sans les composants) et d'agrégation (l'agrégat peut exister sans les agrégés).

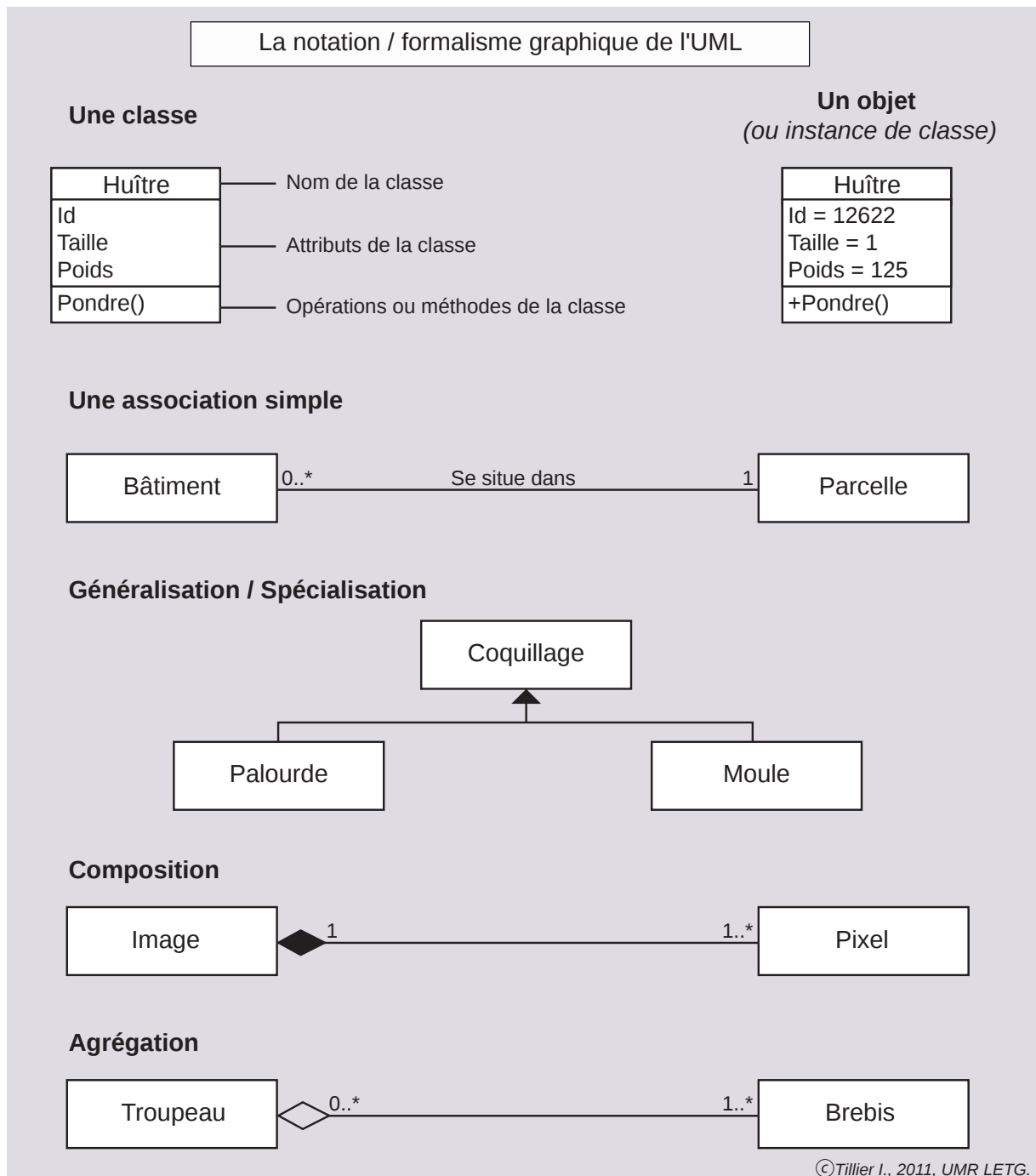


Figure 32 : Les principaux éléments du formalisme graphique UML.

L'aspect sur lequel UML apparaît le plus pertinent est l'introduction de la caractérisation du comportement des objets dans la méthode de formalisation. En effet, UML permet à la fois une modélisation de systèmes dans leurs structures mais aussi dans leurs dynamiques. La conception de messages circulant entre objets, agissant comme des stimuli pouvant déclencher des actions ou des changements de valuations

attributaires des objets, est une clé de modélisation conceptuelle en vue de différentes utilisations. UML permet donc, pour caractériser un système, la conception et l'utilisation de différents diagrammes. Ceux-ci sont présentés dans la figure 33.

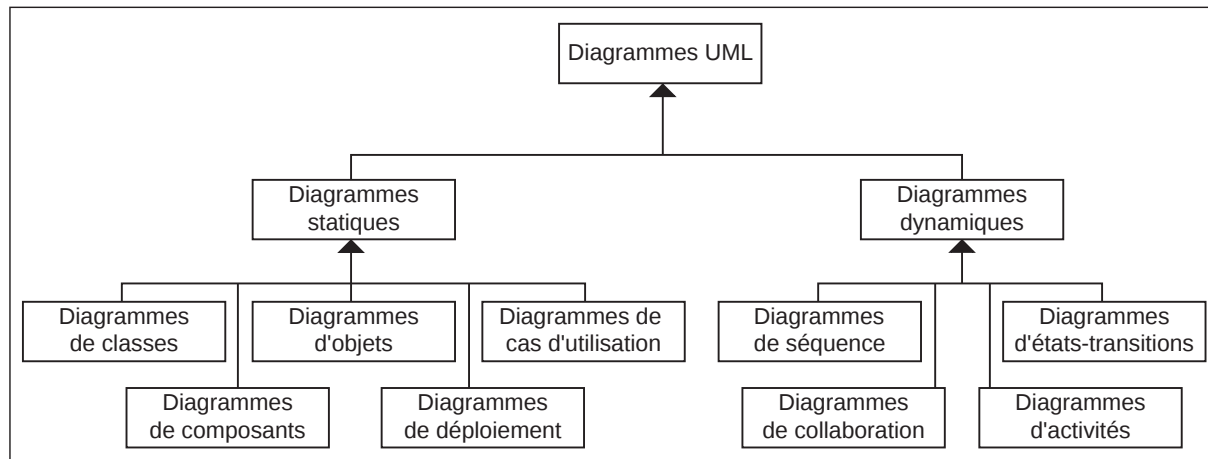


Figure 33 : Les différents diagrammes utilisés dans la méthode UML (Muller & Gaertner, 2005).

Parmi tous ces diagrammes, seuls certains sont fréquemment utilisés en géomatique. Ainsi :

- Classiquement dans le cadre d'analyse/conception de systèmes, la définition de la structure est au cœur du processus. Ce « quoi » du modèle (Muller, 2007 ; Tillier, 2007) est traduit dans UML par le diagramme de classes. Il représente les grandes classes d'objets et les associations potentielles entre celles-ci. Les diagrammes d'objets sont des instanciations des diagrammes de classes. Ils permettent d'illustrer un cas concret d'instanciation. Le graphisme des diagrammes de classes et d'objets s'appuie sur les éléments présentés dans la figure 32, combinant classes et relations diverses.

- L'expression du « quand » du modèle est, quant à lui, exprimé par les diagrammes d'activités (exemple avec la figure 34). Il s'agit de du séquençage de la vie des objets en cycles. Cela renvoie directement pour des objets spatiaux à des calendriers de vie tels des successions de pratiques.

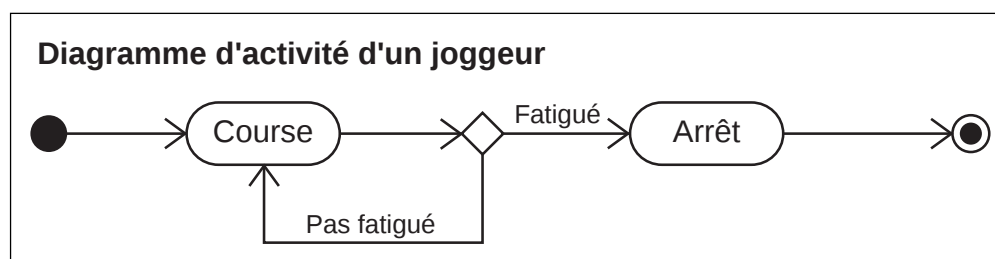


Figure 34 : Exemple de diagramme d'activité en UML (Bécu, 2009).

- Le « comment » en modélisation conceptuelle utilisant UML est représenté via les diagrammes d'états-transitions (exemple avec la figure 35) et les diagrammes d'interactions. Les premiers concernent les dynamiques internes d'un objet et les seconds les dynamiques inter-objets (Bécu, 2009).

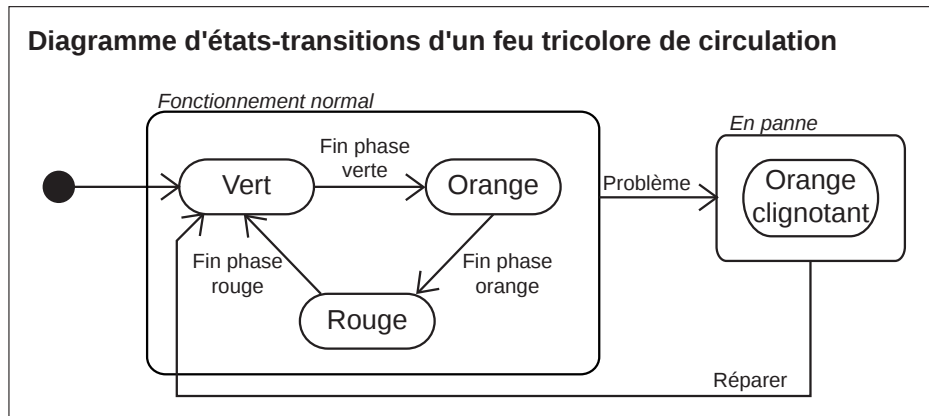


Figure 35 : Exemple de diagramme d'états-transitions en UML (Bécu, 2009).

A la lumière de cette présentation rapide, UML apparaît donc comme un outil potentiellement particulièrement adapté et pertinent pour la formalisation de systèmes spatiaux complexes. Le panel de boîtes à outils proposées par cette méthode, sa large utilisation dans divers domaines, son inscription dans un contexte fortement normé et la lisibilité de son formalisme en font un formalisme quasi-incontournable pour la modélisation conceptuelle. La section suivante détaille brièvement cette idée.

III.2.2.b Une convergence autour de l'Orienté Objet avec des adaptations spécifiques aux systèmes spatiaux

UML est un formalisme qui rend possible différentes exploitations. Les possibilités croisées fournies par les nombreux diagrammes permettent en effet d'envisager des modélisations conceptuelles pour :

- La conception de structures de bases de données. Cette démarche aura recours notamment au diagramme de classes pour organiser une base relationnelle sémantiquement cohérente avec la conception du système modélisé (Caron, 1991 ; Caron & al., 1993 ; Pantazis & Donnay, 1996 ; Claramunt & al., 1997 ; Kösters & al., 1997 ; Gayte & al., 1997 ; Tryfona & Jensen, 1999 ; Servigné & Libourel, 2006).

- La conception de modèles de simulation appliqués aux phénomènes spatialisés.

L'utilisation des différents diagrammes dynamiques permet d'ajouter à la structure d'un modèle (diagramme de classes) la formalisation de son fonctionnement en termes de processus et de comportements des objets. Dans la sphère de l'Intelligence Artificielle Distribuée (IAD), UML est devenu le standard pour la conception d'automates cellulaires ou de systèmes Multi-Agents (Muller, 2007).

UML est de plus une conception intégrée à de nombreuses structures logicielles. Cet autre aspect vient appuyer l'utilisation de l'OO dans notre pratique de formalisation. Issu de l'Informatique et créé à la base pour la conception de logiciels, UML a pleinement été utilisé à cette fin. Ainsi, la conception et la programmation Orientées Objet (Java, PHP, C++...) se sont largement développées dans différentes sphères des applications informatiques.

En ce qui nous concerne, les structures logicielles se basant de plus en plus sur des approches objets, l'adoption de ces mêmes concepts d'analyse rend le travail plus facile. Que ce soit pour l'implémentation de bases de données en utilisant des logiciels reposant sur une approche objet (exemple de PostGIS ou encore des geodatabases d'ArcGIS) ou pour le développement de modèles à IAD, les structures OO permettent une meilleure adéquation aux logiciels utilisés.

L'UML (formalisme et méthode) constitue donc un ancrage méthodologique fort dans notre recherche de construction de différents outils pouvant aider à la détection et/ou à l'anticipation des conflits d'usages en zones côtières.

III.3 Une application au système spatial de production des conflits d'usages en zone côtière

Cette section a pour objectif de produire une première formalisation du système spatial de production des conflits d'usages sur notre secteur d'étude. Elle s'appuie sur les ancrages méthodologiques décrits dans la première partie du chapitre. On s'attache ici à la phase de modélisation conceptuelle stricto sensu, c'est-à-dire à la réalisation d'un modèle conceptuel « en intention » (Saint Gérard, 2005), n'intégrant pas les données sur les objets. Cette démarche repose sur une analyse spatiale fine menée en baie de Bourgneuf et retrace l'ensemble des relations spatiales possibles entre objets géographiques dans la genèse des conflits d'usages. Ce modèle constitue une

base conceptuelle que différentes analyses et outils peuvent prolonger. Il s'agit d'une forme de patron de conception, structurant un système d'observation des interactions spatiales entrant en jeu dans la production de conflits.

III.3.1 Analyse structurelle du système

Dans cette démarche, nous allons chercher à exploiter un faisceau d'analyses, de collaborations et de connaissances de terrain acquises au cours de ce travail pour produire une synthèse des cas de conflits observés.

III.3.1.a Exemples de conflits issus de la baie de Bourgneuf

Titre de la problématique:	Description:
Gestion de la chasse	Conflits autour de la gestion des niveaux d'eau (notamment entre chasseurs et agriculteurs)
Eutrophisation, envasement et perte de biodiversité dans les canaux	Conflits d'usage autour de la qualité des eaux du marais
Occupation du DPM	Conflits entre usagers (pêche à pied, conchyliculture...) sur le Domaine Public Maritime
Dégradation du milieu dunaire	Tensions entre gestionnaires des milieux dunaires et activités touristiques dégradantes
Déchets des activités conchylicoles	Déversements des déchets sur l'estran et pollutions (conflits avec activités touristiques et récréatives)
Gestion des sédiments de dragage	Le dragage des ports entraîne production et épandage de sédiments chargés en polluants, gênants pour de nombreuses activités
Conflits autour des activités de pêche	La grande diversité de ces activités amène de nombreux conflits entre pêcheurs professionnels, entre pêcheurs professionnels et de loisirs, entre pêche et autres activités.
Insuffisance globale des ressources en eau pour tous les usages	Problème dans la gestion quantitative de l'eau pour les différents usages
Pollution des eaux par des produits phytosanitaires	Ces pollutions amènent une insécurité qualitative pour certains usages comme l'alimentation en eau potable (AEP vs Agriculture)
Incapacité des stations d'épuration à traiter les pics saisonniers	Problème de la qualité des eaux (conflits entre conchyliculteurs, pêcheurs à pied et activités touristiques récréatives saisonnières)
Multiplicité des zonages réglementaires	Confusions, incompréhensions et conflits d'interprétation (notamment dans l'agriculture)

©Tillier I., 2011, UMR LETG.

Figure 36 : Grandes problématiques génératrices de conflits d'usages recensées en baie de Bourgneuf.

Ce travail d'analyse spatiale générale a permis de cibler des grandes problématiques sujettes potentiellement à conflit (figure 36). Ce travail, réalisé en collaboration avec le Secrétariat Général aux Affaires Régionales de la région Pays de Loire, a par la suite servi dans les groupes de travail thématiques réunissant les acteurs impliqués dans la procédure expérimentale de Gestion Intégrée des Zones Côtières (SGAR-PDL, 2005).

Cette première analyse à l'échelle de l'espace d'étude a autorisé le repérage de problématiques clés comme la dégradation de la qualité des eaux ou encore la gestion des usages sur le Domaine Public Maritime qui sont à l'origine de nombreux conflits observés.

III.3.1.b Typologie des objets élémentaires du système

Cette analyse spatiale a mis en évidence l'existence de deux grands composants du système : les usages et les ressources. Ces objets constituent la base, le niveau élémentaire dans la conception de notre système spatial. Leur décomposition en différents types est présentée dans les figures 37 et 38.

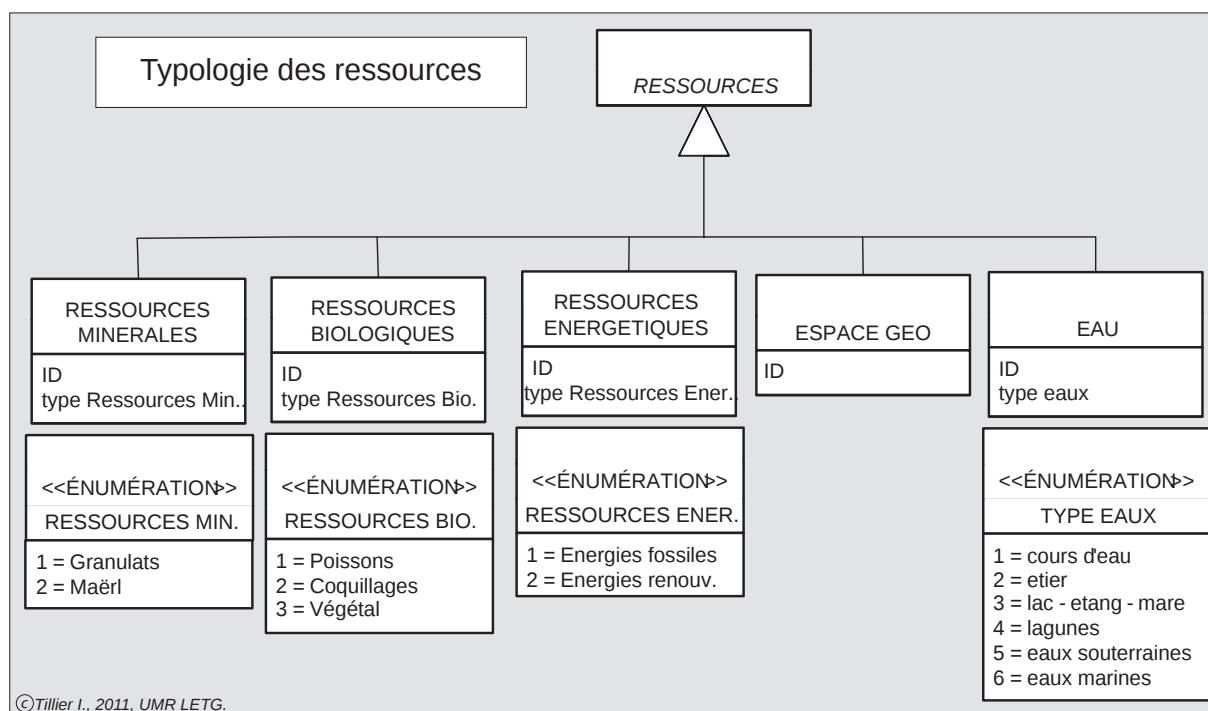


Figure 37 : Diagramme de classes des ressources.

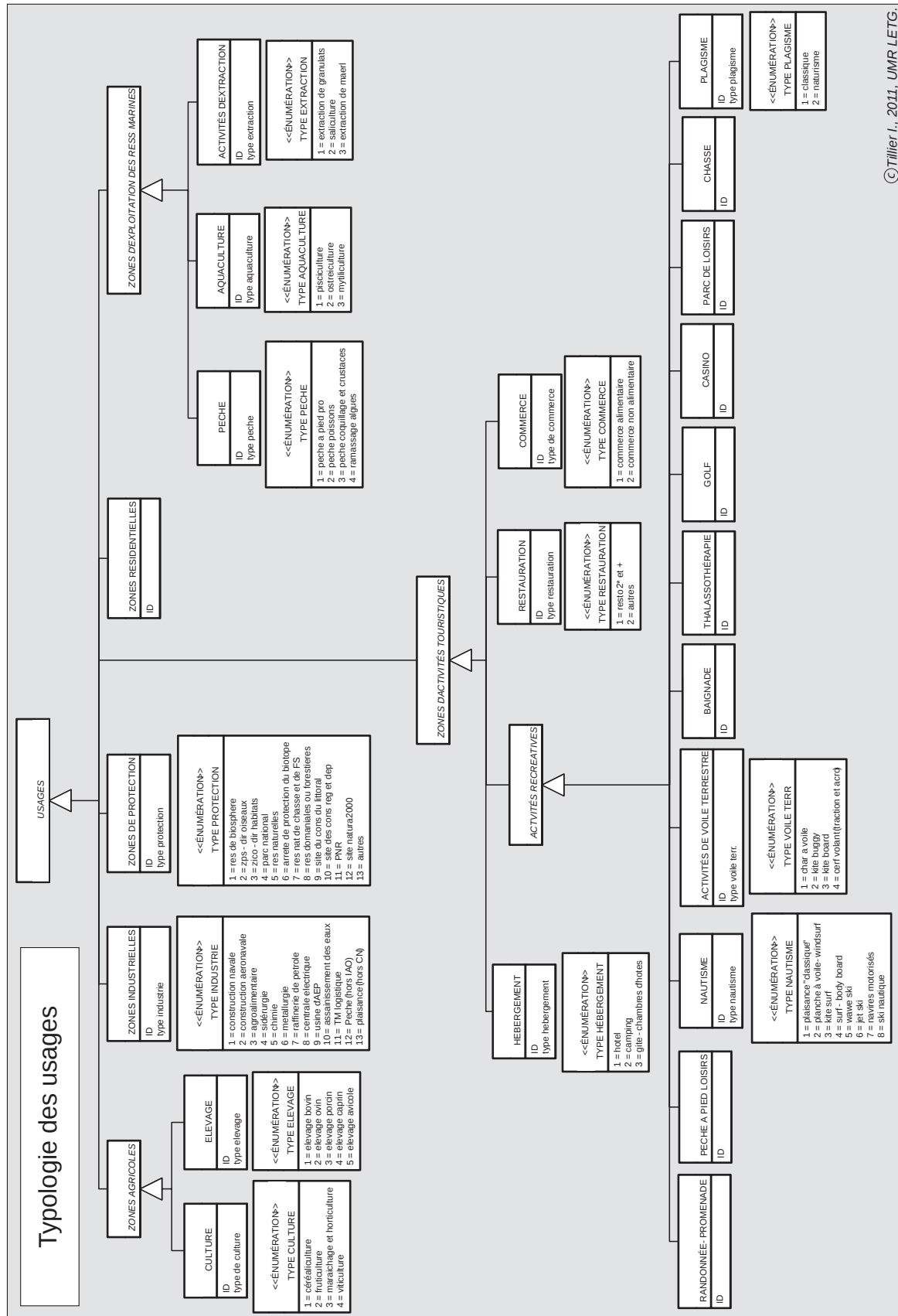


Figure 38 : Diagramme de classes des usages.

III.3.2 Analyse des relations / interactions entre objets géographiques

Une fois définis les objets géographiques, il faut chercher à spécifier comment ceux-ci se combinent dans la production des conflits. Toujours sur la base du recensement des problématiques mais aussi de l'analyse de quelques cas de conflits avérés, on peut formuler des archétypes d'interactions spatiales productrices de conflits d'usages.

III.3.2.a La mise en jeu d'une ressource dans le conflit

Parmi les processus en jeu, l'utilisation et/ou la dégradation d'une ressource partagée est souvent à l'origine de conflits. En baie de Bourgneuf, l'observation d'utilisations concurrentielles, de recherche d'appropriation exclusive ou de dégradations des ressources est extrêmement fréquente. Ces interactions constituent une des sources de conflits majeures. En effet, comme déjà présenté, de nombreuses problématiques tournent autour de concurrences pour l'utilisation d'un territoire de pratique (mise en jeu de la ressource spatiale) ou de la dégradation de la qualité d'une ressource renouvelable centrale : l'eau.

La place des ressources dans l'émergence des conflits d'usages sera donc une des pierres angulaires de notre analyse et de la typologie des conflits.

III.3.2.b Des relations spatiales complexes

Un autre paramètre éclairant la complexité du système spatial de production des conflits d'usages est la diversité des relations spatiales qu'entretiennent les usages entre eux et avec les ressources. En effet, en lien avec la mise en jeu de ressources agissant comme des vecteurs de conflits, de nombreux cas observés retracent des antagonismes entre acteurs implantés sur des territoires de pratiques non contigus. Comprendre ces relations topologiques et les intégrer semble être une des clés pour l'analyse spatiale des conflits sur notre espace d'étude.

III.3.2.c Typologie des cas de conflits

La mise en jeu d'une ressource et les relations topologiques entre usages et entre usages et ressources sont donc deux paramètres discriminant des types de conflits d'usages. La figure 39 présente une typologie reposant sur ces paramètres (Tillier & Robin, 2008). Des exemples viennent illustrer la classification.

Type de conflit	Spécialisation de modalité	Spécialisation de relation topologique	Exemple de conflit
Conflits liés à des usages de ressources : en eau, biologiques ou minérales.	Usages antagonistes simples	Superposition spatiale	Activité de petite pêche côtière chalutant dans un secteur d'ostréiculture en renversant des tables à huîtres
	Usages antagonistes avec pollution	Superposition spatiale	Activité de conchyliculture déversant des déchets sur l'estran, polluant un espace aussi utilisé par les pêcheurs à pied
		Disjonction spatiale	Pollution des eaux côtières par rejet d'eaux usées impactant une zone de baignade située à quelques centaines de mètres (courant de dérive littorale)
Conflits liés à des choix d'affectation de l'espace (espace ressource) Conflits sur projets	Concurrence pour un espace	Indifférenciée	Conflit sur un projet d'agrandissement de zone industrielle sur une zone de marais à proximité d'un espace protégé (conflit impliquant industriels, gestionnaires et associations de protection de la nature)

©Tillier I., 2011, UMR LETG.

Figure 39 : Une typologie des conflits d'usages combinant mise en jeu de ressources et relations topologiques entre usages.

Ces différents types de conflits d'usages peuvent également être représentés par des modèles graphiques (figure 40) inspirés de la chorématique de R. Brunet (Brunet, 1986).

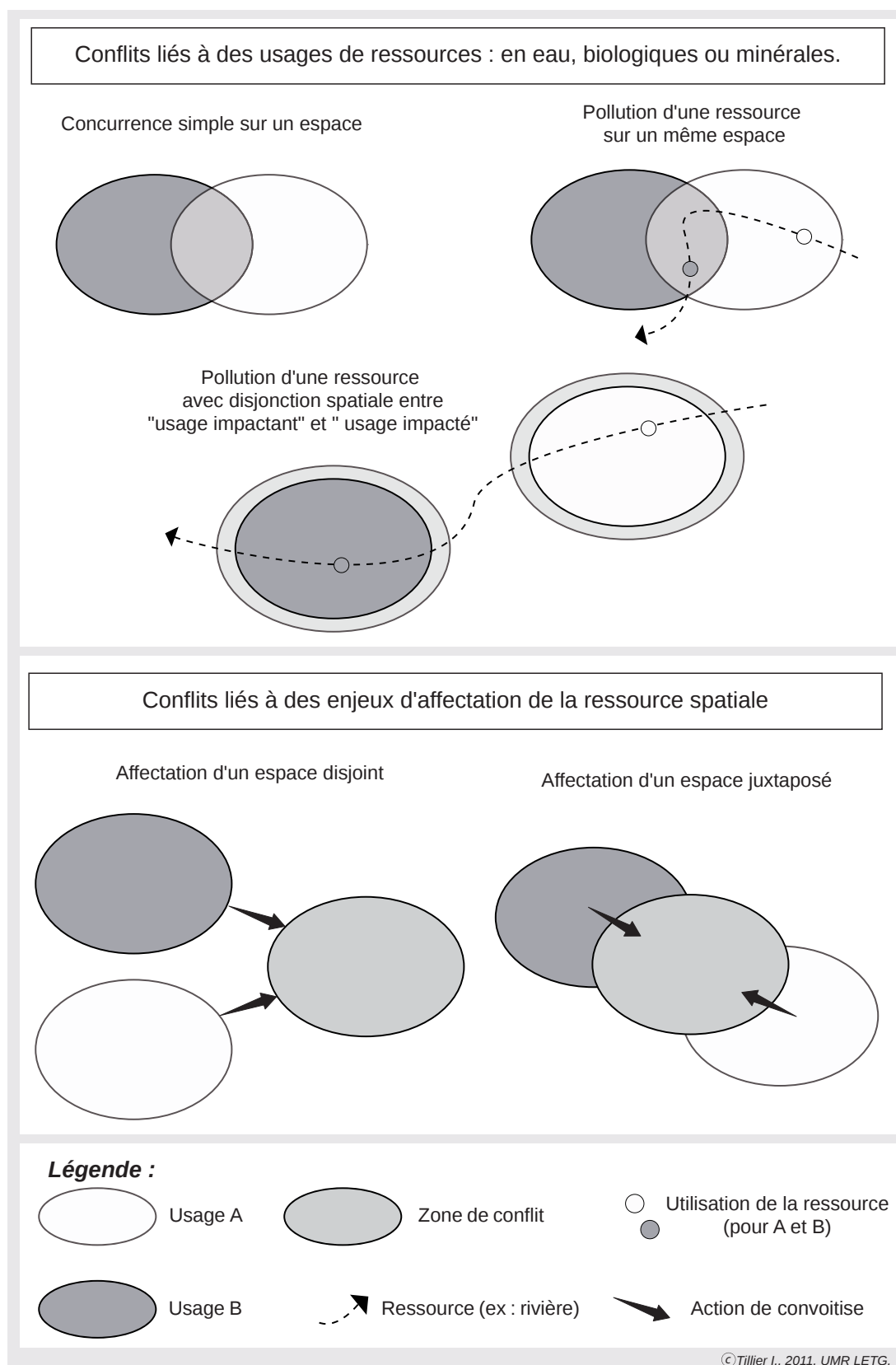


Figure 40 : Modèles graphiques des types de conflits d'usages.

Après avoir défini les objets élémentaires du système (usages et ressources) et en avoir effectué une classification, nous avons défini les relations que ces deux classes d'objets entretiennent, qualifiant celles-ci sous l'angle de deux paramètres. La section suivante est dédiée à la construction d'une représentation normalisée du système spatial de production des conflits d'usages.

III.3.3 Formalisation du système spatial de production des conflits d'usages

Les éléments sur les méthodes de formalisation de systèmes et ceux sur l'analyse spatiale de notre terrain d'étude vont ici converger pour contribuer à une proposition de représentation du système spatial de production des conflits d'usages. Cette formalisation basée sur une conception OO est exprimée en UML enrichi (rajout de phrases descriptives et de cardinalités relationnelles), sous la forme d'un diagramme de classes représentant les grandes classes d'objets et les relations qu'ils entretiennent dans la production des conflits liés aux usages. Ce modèle conceptuel est issu d'observations effectuées en baie de Bourgneuf mais se veut cependant assez générique pour être transposable sur d'autres secteurs.

III.3.3.a Un modèle conceptuel du système d'interactions spatiales productrices de conflits d'usages

La figure 41 présente l'ensemble des relations spatiales possibles pour la production de conflits. Outre les objets élémentaires (usages et ressources), ce diagramme intègre les conflits et les pollutions comme objets spatiaux. Des instanciations de ce diagramme sont présentées dans la section suivante à fins d'illustration.

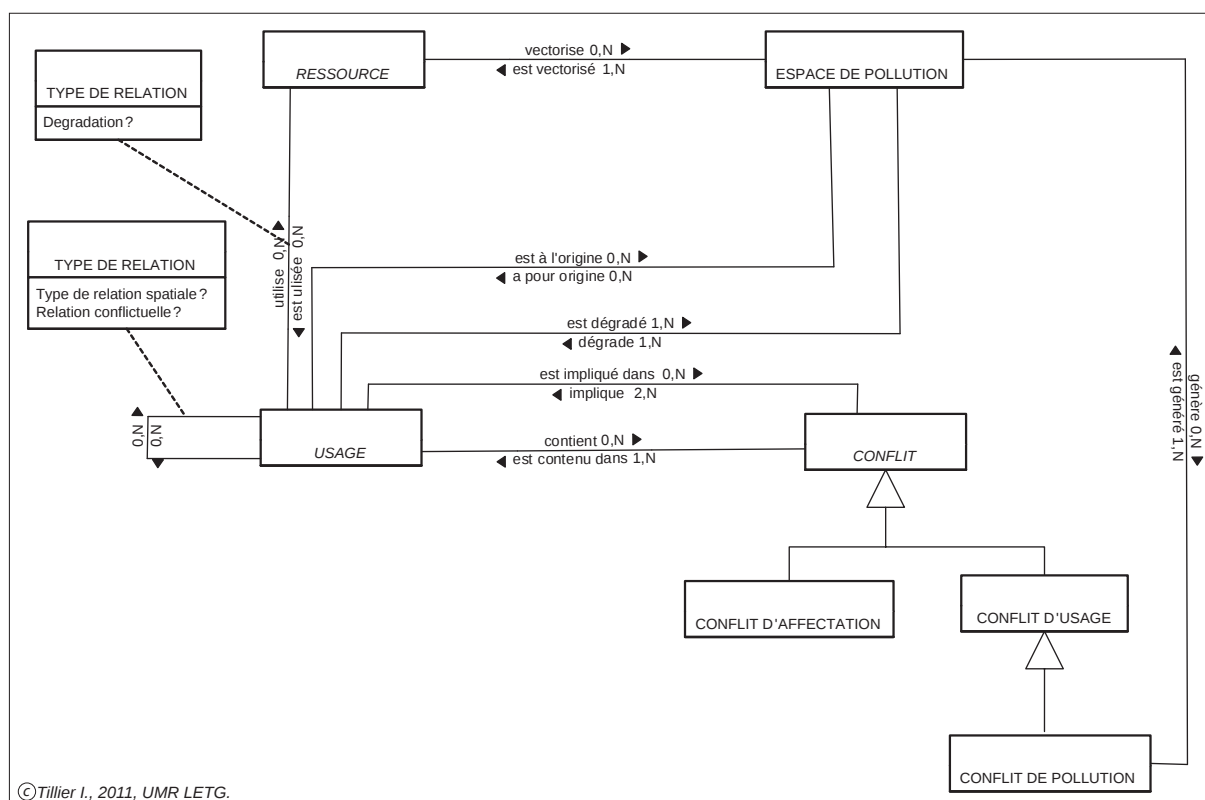


Figure 41 : Modèle conceptuel du système spatial de production de conflits d'usages.

III.3.3.b Exemples à partir de l'espace d'étude

Afin de fournir des illustrations de ce modèle général, nous allons en proposer des déclinaisons avec des diagrammes d'objets retraçant des situations de conflits observées.

Le premier (figure 42) décrit les relations entre objets dans le cas d'un conflit d'usages « simple » lié à des pratiques antagonistes spatialisées. Dans le cas évoqué par exemple, c'est la superposition entre le territoire pratique du tourisme balnéaire et la présence d'une dune protégée qui crée le conflit entre touristes et gestionnaires de l'espace naturel (la fréquentation importante et le piétinement induisent une dégradation du milieu dunaire).

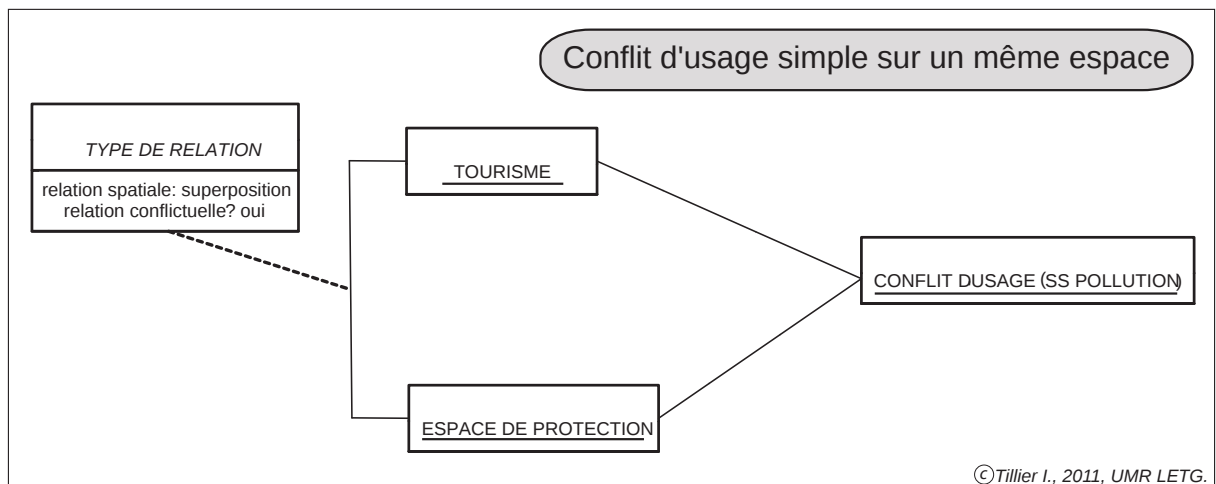


Figure 42 : Diagramme d'objets représentant un cas de conflit « simple », concurrence sur un même espace.

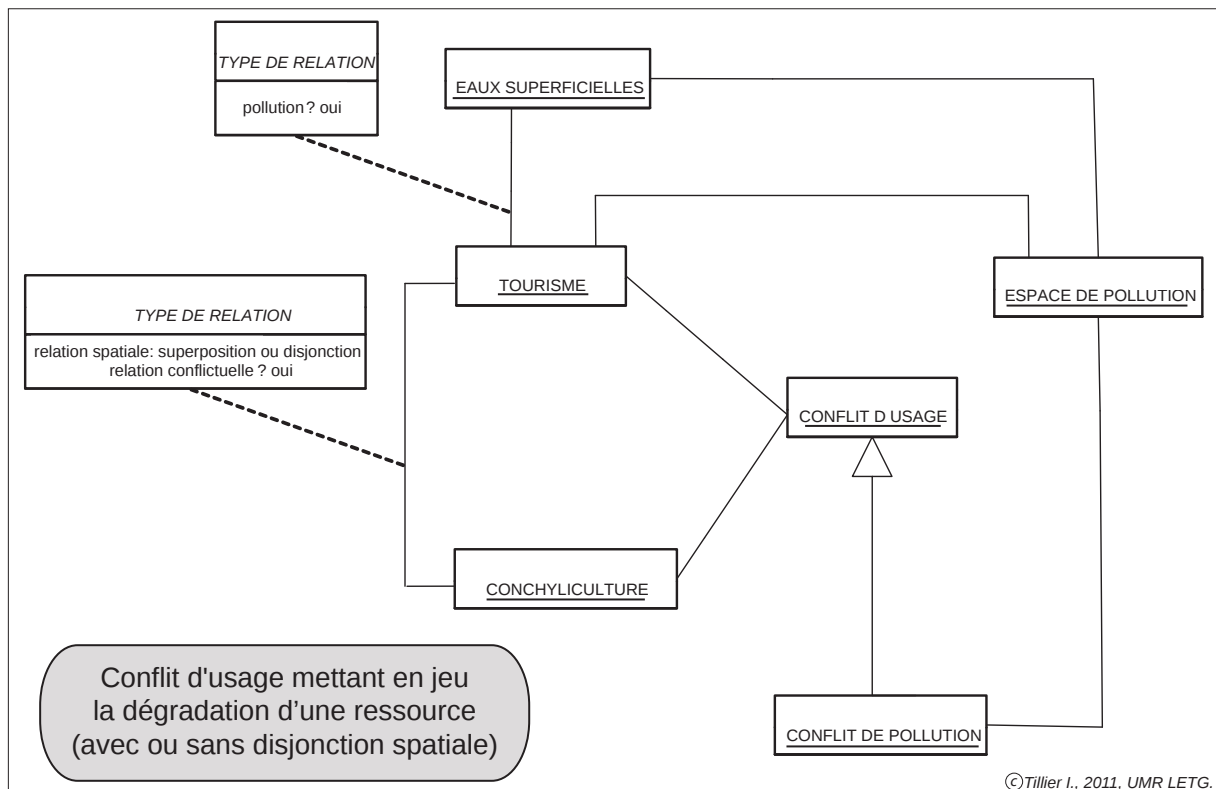


Figure 43 : Diagramme d'objets représentant un cas de conflit lié à la dégradation d'une ressource partagée (avec ou sans disjonction spatiale entre usage « impactant » et usage « impacté »).

Le second diagramme d'objets (figure 43) illustre quant à lui une situation de conflit fréquente liée à la dégradation d'une ressource partagée, en l'occurrence la ressource en eau, conjointement utilisée par les touristes et les conchyliculteurs. Ce cas est très classique. Les pollutions domestiques diffuses sont liées aux raccordements imparfaits des habitations au système d'assainissement collectif, ou

encore le sous dimensionnement des stations d'épuration pour les traitements lors des pics de fréquentation estivale. Elles font peser une pression importante sur la qualité des eaux côtières. Ainsi, régulièrement des pollutions, notamment bactériologiques, provoquent des interdictions de vente de coquillages, pénalisant les conchyliculteurs.

La figure 44 décrit la structure relationnelle entre objets géographiques dans le cas d'un conflit pour l'affectation d'un espace protégé. La relation entre les deux usages en concurrence peut être topologiquement variée.

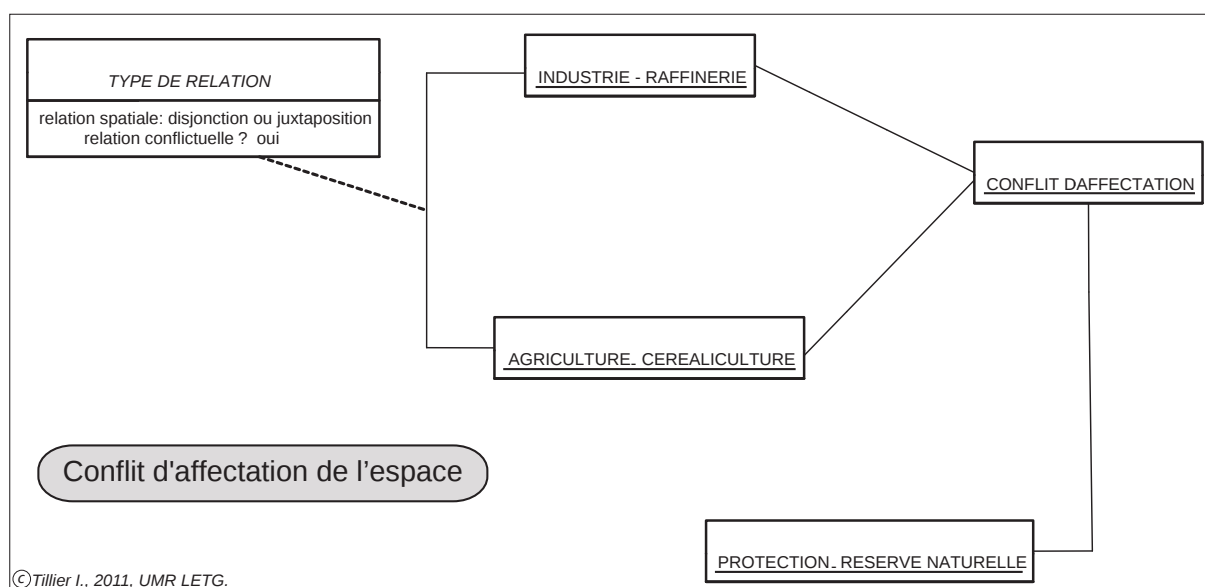


Figure 44 : Diagramme d'objets représentant un cas de conflit lié à des enjeux d'affectation de la ressource spatiale (avec ou sans disjonction).

Ce chapitre s'est attaché à mettre en évidence à partir de l'exemple de la baie de Bourgneuf la grande complexité spatiale des situations de conflits d'usages (avérés ou potentiels). L'enchevêtrement spatial des usages et la mise en jeu de ressources pouvant agir comme vecteurs de conflits, rendent nécessaire la formalisation des objets et interactions.

A cette fin, outre la mobilisation de l'analyse systémique, l'utilisation d'une méthode de formalisation normalisée est une démarche en adéquation avec la production de connaissances structurées et accessibles au plus grand nombre. La proposition d'un modèle conceptuel du système spatial de production des conflits d'usages constitue donc un premier pas pour la compréhension des processus spatiaux dans la genèse des conflits.

Ce modèle est à concevoir comme une trame de fond, identifiant des archétypes de relations potentiellement conflictuelles dans un cadre contextualisé. Il synthétise en fait une typologie des conflits et processus repérés en baie de Bourgneuf. Ce patron constitue un support à différentes applications développées dans les chapitres suivants. Il s'agit notamment d'évaluer l'intérêt de ce modèle conceptuel pour la structuration d'information géographique et la représentation cartographique des situations de conflits d'usages.

Chapitre IV - De la formalisation à la représentation cartographique des objets et interactions spatiales

La formalisation des dynamiques et interactions spatiales générant des conflits d'usages est un élément clé pour la résolution ou l'anticipation de ceux-ci. Que cela soit par le biais de chorèmes, de croquis ou de modèles conceptuels plus standardisés, ces formalisations représentent un support d'analyse associé à une problématique ou à un secteur d'étude. Lorsque ces représentations ne sont pas co-construites avec les acteurs de la thématique considérée, leur restitution peut être parfois source d'incompréhension et de désaccord. En ce sens, adosser des formalisations de systèmes spatiaux à une information géographique adaptée est une voie vers l'objectivité et l'explicitation des interactions. De plus, les cartes sont à la fois des outils accessibles à la plupart des acteurs mais également des supports puissants pour la discussion et la négociation (Etienne, 2003 ; Bousquet & Trébuil, 2005 ; García-Barrios & al., 2008 ; Etienne, 2008).

Ce chapitre s'attache à détailler les modalités de développement des représentations cartographiques structurées pour la compréhension des interactions spatiales productrices de conflits d'usages. Après avoir présenté les fondements méthodologiques permettant de passer des modèles conceptuels aux Modèles Conceptuels de Données (MCD) et finalement aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) en intégrant les relations topologiques et les temporalités des objets, nous aborderons des exemples de mise en œuvre de SIG pour l'analyse de la composante spatiale des risques et conflits d'usages. Enfin, un bilan des apports de ces démarches de structuration de l'information géographique pour la représentation et l'aide à la gestion des conflits d'usages est effectué.

IV.1. Des Modèles Conceptuels aux Systèmes d'Information Géographique

Le chapitre III a exposé différentes méthodes de formalisation de systèmes spatiaux. Ces méthodologies présentent soit une conception purement orientée vers la transcription d'un modèle conceptuel vers un modèle logique de données (cas de la méthode HBDS) soit des possibilités mixtes, depuis la modélisation conceptuelle à la conception de simulateurs en passant par la structuration de SGBD. Cette recherche de polyfonctionnalité nous a orientés vers les méthodes « Orientées Objet » dont UML est le formalisme standard.

IV.1.1 Aspects théoriques

IV.1.1.a Les différents niveaux de modélisation de l'information spatiale

On peut détailler quatre niveaux de modélisation de l'information géographique (figure 45), depuis le domaine des applications vers celui des sciences de l'informatique (Pantazis & Donnay, 1996 ; Gayte & al., 1997 ; Pirot & Saint Gérard, 2004) :

- Le premier est celui de la modélisation spatiale, c'est-à-dire une analyse de la thématique et de l'espace (objets et interactions) ayant trait à la problématique étudiée. Ce travail d'analyse est fourni par le thématicien.

- Le second est celui de la modélisation conceptuelle plus standardisée. Il sert à déterminer la structure des objets et des relations qu'ils entretiennent. Il peut être mené en deux temps : tout d'abord la réalisation d'un modèle ne détaillant pas la structure interne des objets, puis celle d'un Modèle Conceptuel de Données (MCD) finalisé avec attributs et opérations attachés aux objets. Ce deuxième temps est clairement une phase préparatoire à l'implémentation numérique.

- La mise en œuvre de ces modèles conceptuels dans un Système de Gestion de Base de Données (SGBD) nécessitant des adaptations essentiellement liées à des contraintes de structures de données logicielles, une phase de modélisation logique des données est nécessaire. Elle peut être automatisée ou non. Elle renvoie à la

transcription du MCD dans une base de données relationnelle gérant les clés primaires mais aussi les cardinalités de relations.

- La modélisation physique des données est du domaine des sciences de l'informatique. Elle s'attache à transcrire le Modèle Physique de Données (MPD) dans un système logiciel de structure physique de tables et de requêtes.

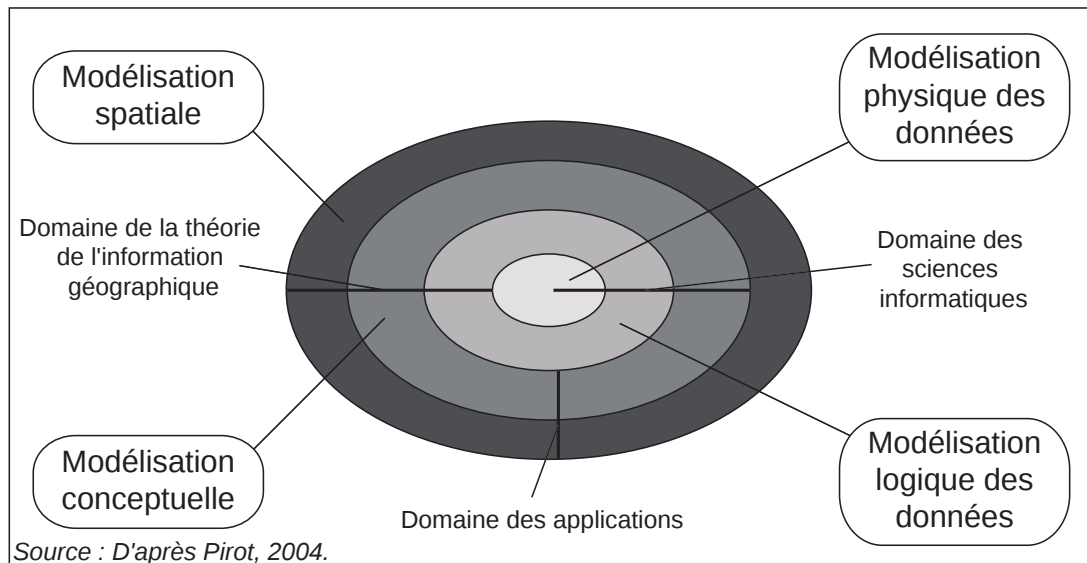


Figure 45 : Les différents niveaux de modélisation de l'information géographique (D'après Pirot & Saint Gérard, 2004).

Ces différents niveaux, font appel à des compétences différentes. Les trois grands domaines mobilisés autour de la structuration spatiale apparaissent complémentaires au vu de la figure 45. La place des géographes à fortes compétences en géomatique peut être considérée comme centrale car elle permet une intervention, depuis l'analyse spatiale initiale, jusqu'à l'implémentation dans un SIG, garantissant la cohérence entre analyse et représentations cartographiques. Néanmoins, cette continuité de l'action du géographe est à mettre à l'épreuve des méthodes disponibles pour la formalisation des systèmes spatiaux étudiés et l'intégration dans des outils de représentation.

V.1.1.b Topologies et temporalités

La recherche de cohérence sémantique depuis l'analyse effectuée par le thématicien jusqu'à l'intégration effective de données dans un SGBD passe par la prise

en compte de deux spécificités de l'information géographique. En effet, il s'agit de représentations d'objets géographiques ayant des propriétés spatiales et temporelles.

Les objets géographiques présentent des particularités géométriques. Leurs caractéristiques géométriques et topologiques (géométries invariantes sous déformation continue) doivent être intégrées comme contraintes dans le système de représentation. En effet, comme le note R. Brunet (Brunet & al., 1992) : « La topologie a permis des observations et des acquisitions importantes pour l'analyse des espaces géographiques et de leurs lois, notamment dans l'étude des réseaux, des emboîtements, des connexités et des cheminements ». La conservation des propriétés géométriques, des intégrités de voisinage et de superposition entre objets est ainsi un élément essentiel dans la compréhension du système spatial de production de conflits d'usages. Il doit être partie intégrante des analyses et représentations par SIG. Les types de géométries renvoient à des implantations d'objets : surfaciques, linéaires ou ponctuelles. Ces trois modes élémentaires peuvent ensuite se combiner en des objets plus complexes de type « linéaire orienté » ou « assemblage de polygones » comme l'illustre la figure 46 (Parent & al., 2006).

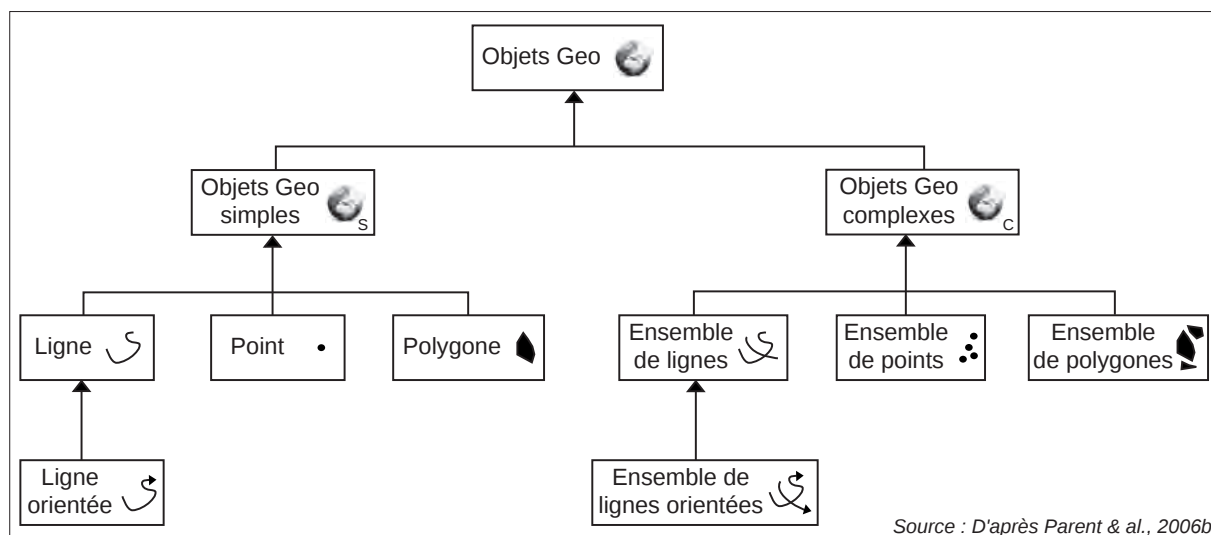
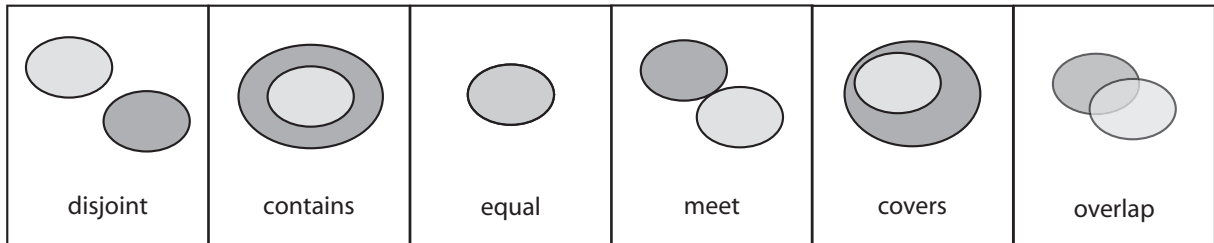


Figure 46 : Typologie des géométries des objets géographiques (D'après Parent & al., 2006).

Les relations entre objets sont également très importantes dans les systèmes étudiés. Elles nécessitent une qualification notamment spatiale (Cf. Chapitre III). On peut proposer une interprétation des relations topologiques reprise de différents travaux (Allen, 1983 ; Egenhofer & Herring, 1990 ; Egenhofer & Golledge, 1998 ; Cheylan,

2007). Elle est présentée dans la figure 47. Cet ensemble de relations peut en partie s'appliquer à d'autres types d'objets que des polygones et permet de décrire les relations spatiales qu'entretiennent les objets



Source : D'après Egenhoffer & Herring, 1990.

Figure 47 : Interprétation des relations topologiques entre polygones (D'après Egenhoffer & Herring, 1990)

Dans notre analyse, un autre élément important est la prise en compte des temporalités des objets et des relations entre ces objets. Sur les espaces d'interface comme les zones côtières, on observe en effet une variabilité temporelle de certains usages et ressources. Dans la mesure où de nombreuses interactions sont liées à cette variabilité, la continuité de leur prise en compte durant les différents niveaux de modélisation de l'information géographique doit être assurée. La figure 48 expose une typologie des temporalités des objets. De nombreux travaux de recherche attestent de l'implication d'équipes de recherche dans la constitution de réels SIG spatio-temporels depuis une vingtaine d'années. (Snodgrass, 1992 ; Bédart & Caron, 1996 ; Parent & al., 1999 ; CASSINI, 1999 ; Roddick & al., 2004 ; Tissot & Cuq, 2004 ; Bédart & al., 2004 ; Parent & al., 2006). Les variables temporelles jouent à deux niveaux sur les objets. Tout d'abord, elles conditionnent la vie d'un objet (relation binaire : existence ou non de l'objet à un instant t). Elles permettent ensuite de rattacher à l'objet des états différents suivant la période (notion d'intervalle temporel : t à $t+n$). Ces états peuvent être cycliques ou soumis à des interactions avec d'autres objets.

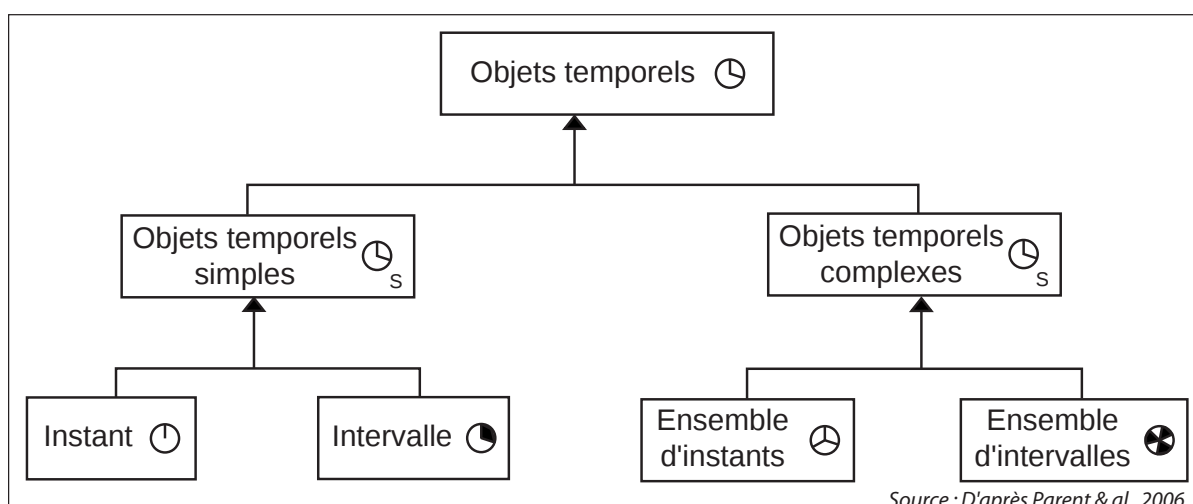


Figure 48 : Typologie des temporalités objets géographiques (D'après Parent & al., 2006)

Ces interactions sont de différents types (figure 49) et présentent des analogies avec les relations des objets dans l'espace (Allen, 1991 ; Langran, 1993 ; Cheylan, 2007).

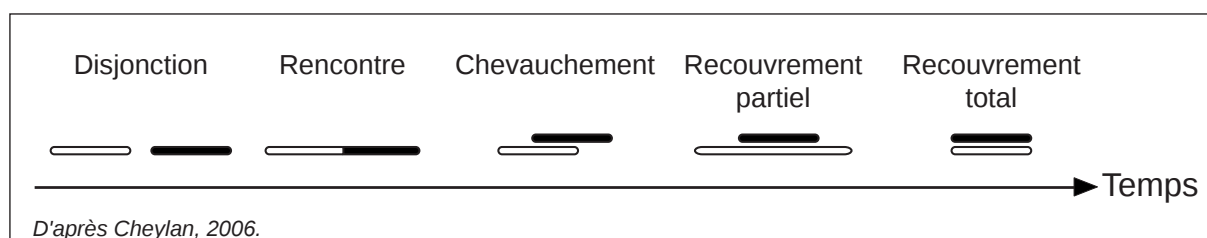


Figure 49 : Typologie des interactions temporelles entre objets géographiques (D'après Cheylan, 2006)

Ces deux aspects autour des géométries et temporalités d'objets sont essentiels à la modélisation des processus spatiaux de production de conflits d'usages. En effet, nombre de problématiques sont liées soit à des superpositions ou des voisinages de territoires d'acteurs ayant des pratiques antagonistes (Kirat & Torre, 2008), soit à des saisonnalités fortes et des décalages de calendriers de pratiques (Le Tixerant & Gourmelon, 2006). L'analyse nécessite de considérer simultanément les caractéristiques spatiales et temporelles des interactions entre usages. Différentes méthodes et outils permettent d'accomplir cette transcription de l'analyse conceptuelle dans des systèmes de gestion de base de données et de représentations cartographiques.

IV.1.2 Méthodes et outils

IV.1.2.a Revue des méthodes et outils

La préoccupation des chercheurs pour la garantie de cette continuité sémantique entre conception et représentation est croissante. On note en effet clairement le développement de méthodes et d'outils associés pour la conception de SIG depuis le début des années 1990. C. Claramunt, S. Coulondre et T. Libourel (Claramunt & al., 1997) ont dressé un bilan des différentes approches existantes et de leur avantages/inconvénients. Cette synthèse, enrichie par des données bibliographiques, nous a permis de tester des outils développés pour la mise en œuvre d'une modélisation conceptuelle d'information spatiale et son implémentation dans des SIG.

Ces outils viennent s'appuyer, de manière générale sur le formalisme UML. Il est à remarquer qu'aucune publication de référence effectuant une comparaison entre Ateliers de Génie Logiciels¹⁸ (AGL) n'a été réalisée depuis un certain temps (Pouliot & al., 1997), ce qui est très préjudiciable dans un contexte technologique en perpétuelle évolution (Pantazis, 2006).

Même si cela n'est pas le cas pour tous les langages de formalisation, il existe différents AGL en français pour l'aide à la conception de modèles de données géographiques orientés objets. Ceux-ci sont plus ou moins intégrés depuis la conception jusqu'à l'implémentation (Pantazis, 2006).

Si d'autres formalismes existent pour la modélisation de bases de données spatio-temporelles, leur mise en œuvre repose souvent sur l'utilisation d'AGL « propriétaires ». On pense à la méthode HBDS de F. Bouillé, qui, pour la transcription de MCD dans un SIG utilise les CASE tools ESRI (ESRI, 2006) nécessitant une licence ARCInfo (et perdant au passage les spécificités d'HBDS pour adopter une approche Objet pure, celle des geodatabases ESRI) (Pirot & Saint Gérard, 2004 ; Saint Gérard, 2005). D'autres AGL payants existent d'ailleurs en direction de différents SIG comme le générateur MapBasic Aigle pour MapInfo (Lbath, 1999 ; Lbath & Pinet, 2000). Les

¹⁸Les Ateliers de Génie Logiciels (ou Computer Assisted Software Engineering (CASE) Tools en anglais) sont des outils d'aide à l'implémentation de Modèles Conceptuels de Données dans des Systèmes d'Informations Géographiques.

formalismes autres que ceux propres aux outils CASE s'effacent donc bien souvent au moment de l'implémentation du modèle conceptuel de données dans un système de gestion de base de données ou un système d'information géographique. Car, comme le note D. Pantazis (Pantazis, 2006), il semble souvent plus pertinent (et moins chronophage) d'utiliser les outils CASE existants et de s'adapter à leurs spécificités au sein des formalismes objets.

Dans ce contexte, la possibilité d'utiliser des logiciels gratuits performants, interopérables avec différents SIG/SGBD est à saisir dans l'environnement actuel de développement des logiciels libres. De plus, les deux outils présentés dans la section suivante intègrent des éléments plus pertinents et performants que la plupart des outils payants en termes de définitions temporelles et de multi-représentation.

Un outil pertinent a été développé dans le cadre du projet européen MurMur. Celui-ci visait le développement de représentations Multi-Résolutions/Multi-Représentations de l'information géographique spatio-temporelle (Parent & al., 2006). Une boîte à outils pour la structuration et l'interrogation de données spatiales a été organisée autour du modèle **MADS**¹⁹ (**Modeling of Application Data with Spatio-temporal features**). L'approche MADS est fondée sur le concept d'orthogonalité, c'est-à-dire « la décomposition d'un phénomène complexe en différents éléments pouvant être entendus indépendamment les uns des autres » (Parent & al., 2006). Cette analyse par facettes s'avère intéressante car les entités manipulées comprennent plusieurs dimensions (Espace, Temps...). Les outils développés dans ce sens permettent de garantir la cohérence d'une approche objet depuis la conception jusqu'à l'implémentation d'une base de données spatio-temporelles. La boîte à outils est composée de trois modules contenant des éléments différenciés mais chaînables :

- Dans le module amont « MADS Schema Editor », le « schema builder » permet la conception de diagrammes de structure de base de données utilisant un formalisme alliant Unified Modeling Language (UML) et Entités-Relations (ER) (Sotnykova & al., 2005 ; Parent & al., 2006). L'éditeur de schémas reprend les possibilités de spécifications spatio-temporelles. Ceci est valable pour les classes et les relations en termes de géométries/topologies et de temporalités.

¹⁹Site de téléchargement MADS : http://cs.ulb.ac.be/mads_tools/

Les « schema translator » et « schema wrapper » permettent d'adapter les concepts de modélisation utilisés dans MADS à un Système de Gestion de Base de Données ou un Système d'Information Géographique ciblé pour l'implémentation de la base de données. En effet, un certain nombre de concepts présents dans le « schema builder » (représentations multiples, héritages multiples, etc.) ne sont pas présents dans les différents logiciels cibles. Ces phases de traduction permettent donc une adaptation de structure et une réécriture (changement de syntaxe) dans le langage utilisé par le logiciel cible. Il est possible de traduire les modèles conceptuels en structure de BDS en direction de différents logiciels : Oracle, ArcView, Mapinfo (Joost & Hertz, non daté).

- Un autre module, « MADS Query Editor », permet de construire en trois temps un système d'interrogation de la base de données. La construction de cet ensemble de requêtes se base sur la structure du modèle conceptuel réalisé sous MADS et non sur celle du modèle physique de données implémenté dans le SGBD cible. Il est ainsi possible depuis une structure générique construite sous « MADS Query Builder » de traduire et adapter automatiquement des scripts adaptés à différents logiciels cibles (réécriture en *XML ou *SQL pour la plupart des SGBD ou PL-SQL pour Oracle). Ces utilitaires de traduction de requêtes reprennent les noms de « MADS Query Translator » et « MADS Query Wrapper ».

- Enfin un dernier module a été développé dans le cadre de ce projet MurMur, il s'agit d'un utilitaire de visualisation des réponses aux requêtes. Le prototype « MADS Query Viewer » est décrit dans différents travaux (Debois, 2003 ; Depasse, 2005). Cet outil permet de s'affranchir pour les fonctions élémentaires d'un véritable SGBD/SIG. Il autorise l'intégration de données attributaires, l'exécution de requêtes et la visualisation spatio-temporelle des résultats à ces requêtes.

La série d'outils proposée dans le cadre de l'approche MADS propose un chaînage méthodologique performant pour la formalisation et la représentation de données spatio-temporelles. Le formalisme utilisé alliant UML et Entité-Relation permet de garder une sémantique pertinente intégrée à une approche objet. En effet, les définitions de contraintes géométriques, topologiques et temporelles s'appliquent à la fois aux objets mais aussi aux relations entre ceux-ci. La suite d'outils MADS reste cependant peu accessible aux non experts, se situant plutôt dans le domaine de

l'application SIG. Ceci dit, différents géomaticiens plutôt orientés vers la Recherche, ont mis en oeuvre l'approche MADS (Chevriaux & Vangenot, 2005) comme R. Burnet sur la thématique de l'information géographique pour la gestion des risques d'avalanches (Burnet, 2003). La figure 50 montre le modèle conceptuel de la base de données utilisée par R. Burnet dans un formalisme MADS.

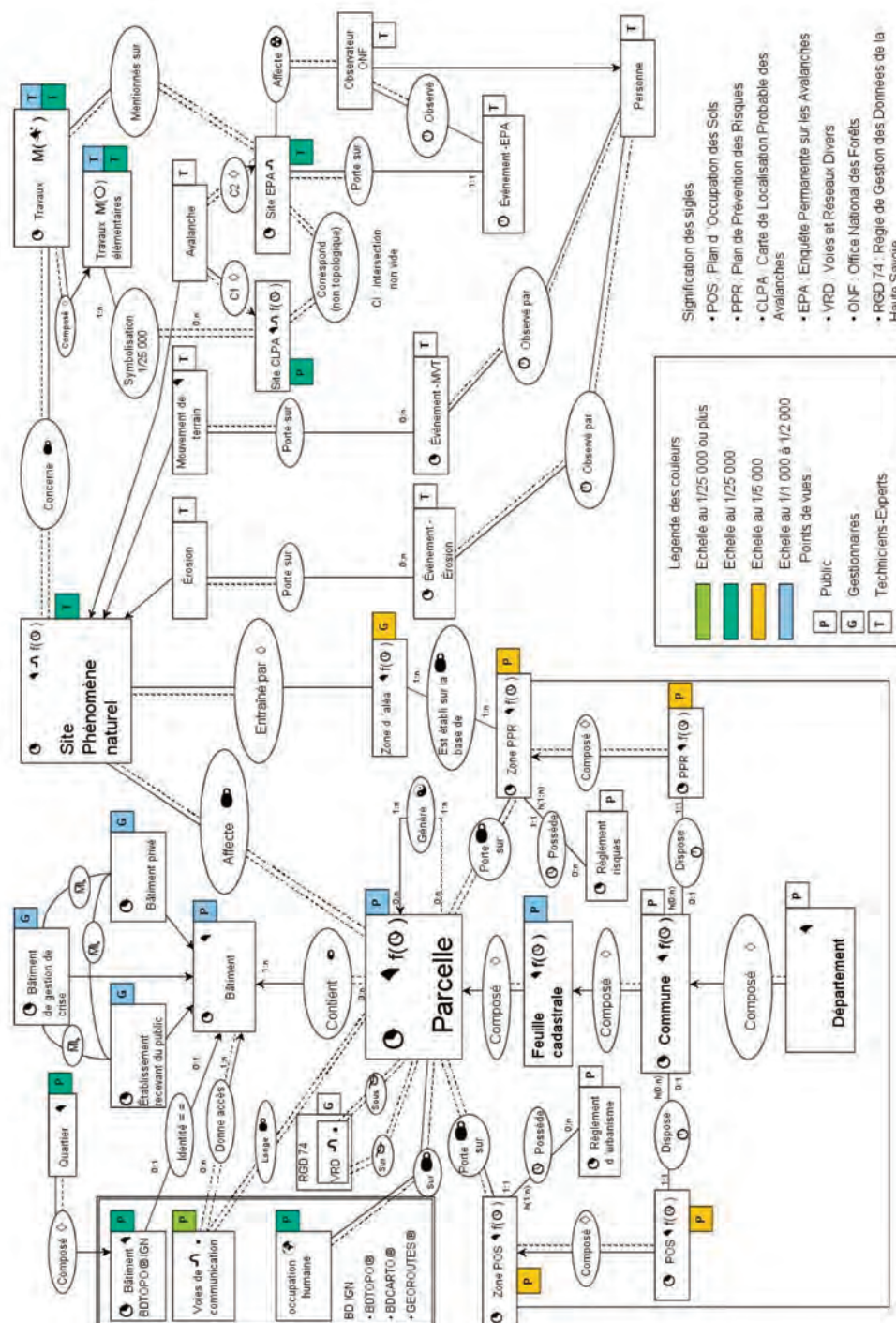


Figure 50 : Modèle conceptuel de base de données géographiques sur la thématique des risques d'avalanches développé dans le formalisme MADS (Burnet, 2003).

- L'équipe du Centre de Recherche en Géomatique de l'Université de Laval au Québec a également produit un outil performant : **Perceptory**. Il s'agit d'un enrichissement du formalisme UML par des Plug in for Visual Language (PVL) (Bédart, 1999 ; Bédart & al., 2004). Ces PVL permettent d'ajouter à des classes d'objets des caractéristiques spatiales et temporelles. Cet outil de modélisation conceptuelle de bases de données spatio-temporelles est pour le moment conçu comme un gabarit utilisable dans le logiciel Microsoft Visio. Il en exploite les fonctionnalités graphiques pour la mise en page des diagrammes. Perceptory repose sur le design d'un dictionnaire de contraintes des classes d'objets et des relations (types de données, spécifications spatiales et temporelles) exportables vers des Systèmes de Gestion de Bases de Données / SIG. Cette structure de conception est en adéquation avec les normes ISO sur le catalogage des données (ISO 19126:2009 « Geographic Information : Feature concept dictionaries and registers ») et des métadonnées (ISO 19115-2:2009 « Geographic Information : Metadata ») (Brodeur & al., 2000). Perceptory contient des fonctions permettant d'adapter les MCD réalisés vers des SGBD/SIG cibles par différents systèmes. Il est possible de générer un fichier de spécification en langage *xml (Extensible Markup Language) directement utilisable pour la constitution d'une geodatabase sous ArcInfo (importation, avec les CASE tools ESRI, conforme en termes de structure relationnelle et de topologies (objets et relations) (ESRI, 2006)). Perceptory contient également un générateur de squelette de code en direction notamment des logiciels Oracle et PostGIS. Ce plugiciel est donc fondamentalement un outil de modélisation de l'information géographique orienté vers la conceptualisation. Il propose des passerelles pour l'implémentation, notamment vers ArcInfo mais n'est pas impliqué, comme MADS, dans une démarche allant jusqu'au développement d'outils d'interrogation de la base et de représentation cartographique. Le formalisme graphique adapté à la modélisation d'objets spatio-temporels par le biais de PVL reste très proche de l'UML classique. De nombreux travaux attestent de la pertinence de cet outil (Mottier, 2001 ; Manche, 2000 ; Missaoui, 2009). Le travail de Y. Manche (Manche, 2000) peut servir d'exemple de diagramme produit avec l'outil Perceptory. La figure 51 représente un système d'évaluation des risques naturels en montagne.

²⁰Site de Perceptory : <http://sirs.scg.ulaval.ca/perceptory/>

²¹Site de l'International Organization for Standardization, Rubrique Geographic Information / Geomatics : http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=54904

²²Traduction du terme anglais plug-in (module d'extension d'un logiciel). Perceptory est un plugiciel pour le logiciel MS Visio.

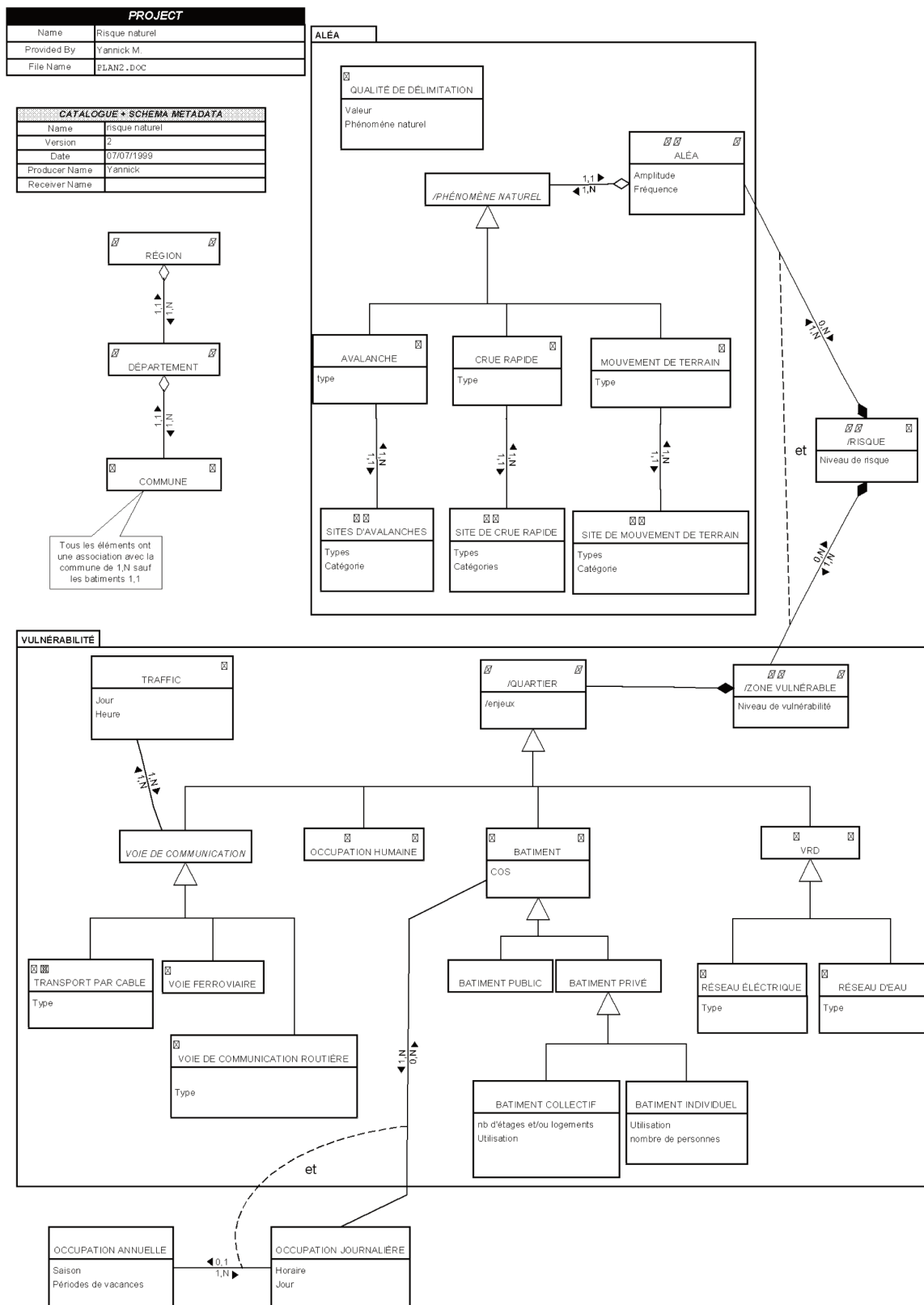


Figure 51 : Modèle conceptuel de base de données géographiques sur la thématique des risques naturels en montagne développé par Manche (Manche, 2000).

IV.1.2.b Comparaison et bilan

En termes de formalismes pour la conception et l'implémentation de bases de données spatio-temporelles, la convergence s'effectue clairement depuis le début des années 1990 vers l'« orienté objet » (Pornon, 1993 ; Parent & al., 1995 ; Claramunt & al., 1997 ; Billen & al., non daté). De plus en plus de SGBD ou de SIG adoptent des structures en cohérence avec cette dynamique (logiciels libres comme GRASS, mais aussi commerciaux, comme ARCInfo). Certains proposent même des outils pour la conception de modèle de données orientés objet (CASE tool de conception des geodatabases ESRI ARCInfo (ESRI, 2006)). Mais aucun ne permet d'intégrer à la modélisation de bases de données des aspects temporels (Rognon & Pouliot, 1997). L'existence d'outils très pointus issus de la recherche et mis à disposition comme gratuits a cependant pallié ce manque.

MADS et Perceptory apparaissent donc comme étant les Ateliers de Génie logiciel les mieux à même de formaliser des systèmes spatiaux complexes et de les restituer dans un cadre de base de données relationnelle intégrant spatialités et temporalités des objets. Mais, si les fonctionnalités proposées en termes de réalisation de MCD et de transferts vers des SIG cibles semblent être au même niveau, une différence importante subsiste entre les formalismes utilisés. En effet MADS emploie un formalisme alliant Objet et Entité-Relation enrichi par des éléments spatio-temporels, et Perceptory utilise un formalisme Orienté Objet UML enrichi par des PVL spatio-temporels.

L'objectif de la section suivante est de tester les AGL MADS et Perceptory pour la formalisation du système spatiale de production des conflits d'usages. Cela permettra de déterminer quel formalisme est le plus adapté dans le cadre de notre recherche. Outre la dynamique actuelle de convergence vers l'UML (ce qui tendrait à privilégier l'utilisation de Perceptory qui en est moins éloigné), un autre élément semble discriminant dans notre choix d'utilisation. Si la comparaison ne s'effectue pas uniquement sur cet aspect, la structure graphique des modèles conceptuels produits apparaît importante. La phase de conceptualisation est en effet souvent menée entre différents types de partenaires (experts et non experts). Les diagrammes doivent donc être facilement intelligibles par tous. Ainsi, le test comparatif a été réalisé avec différents partenaires d'un projet mené sur la redistribution spatiale des mouillages forains sur

l'île de Noirmoutier. Le résultat a été sans équivoque : les diagrammes réalisés en formalisme OO avec le logiciel Perceptory se sont imposés car étaient perçus comme étant les plus lisibles. Les figures 52 et 53, représentant le même modèle conceptuel réalisé avec les deux formalismes viennent illustrer et appuyer ce choix.

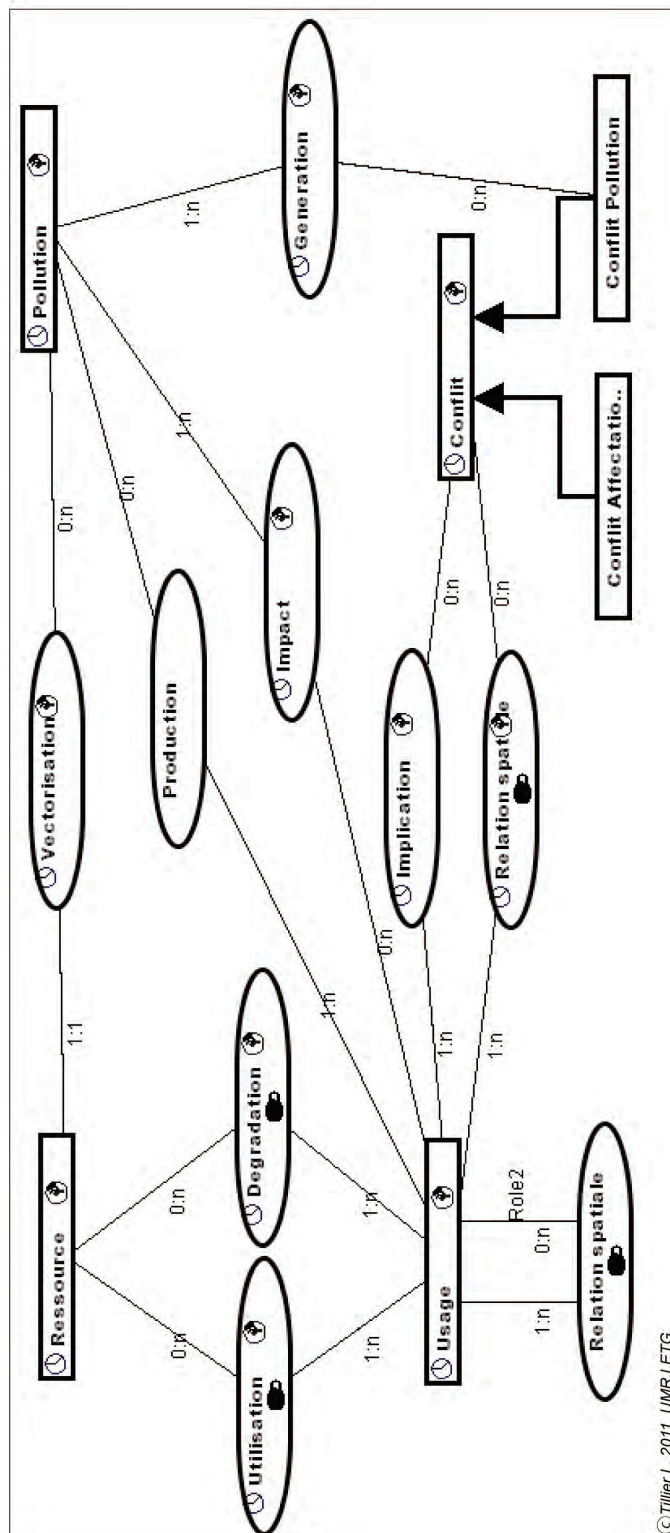


Figure 52 : Modèle conceptuel du système spatial de production des conflits d'usages réalisé avec l'AGL MADS.

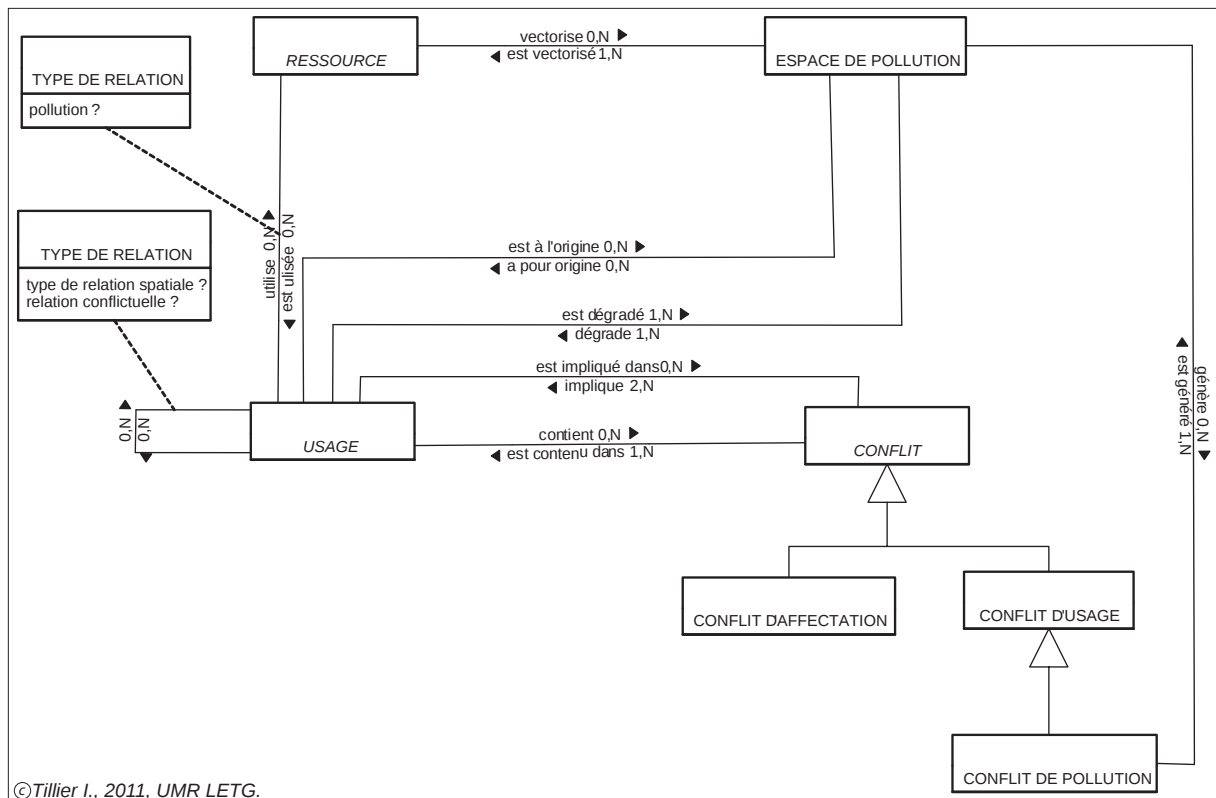


Figure 53 : Modèle conceptuel du système spatial de production des conflits d'usages réalisé avec l'AGL Perceptory.

IV.2. Exemples d'applications SIG

La recherche de continuité sémantique entre la modélisation conceptuelle et la représentation cartographique a été mise à l'épreuve d'un certain nombre de cas d'étude lors de ce travail. Cette section présente deux exemples. Le premier est issu d'un travail collectif sur l'analyse et la représentation de la vulnérabilité des côtes face aux pollutions par hydrocarbures. Le deuxième, déjà introduit précédemment, concerne la mise en évidence de secteurs d'interventions prioritaires (d'un point de vue interactions spatiales entre usages) pour la restructuration des mouillages forains autour de l'île de Noirmoutier. Ces deux exemples, traitant de risques et de conflits d'usages en zone côtière, présentent des similitudes. Ce sont en effet des approches basées sur l'analyse d'interactions spatiales potentielles, nécessitant une grande quantité de données à des fins d'extractions synthétiques. Les deux exemples présentés ici convergent notamment autour des méthodologies géomatiques mises en œuvre.

IV.2.1 Base de données spatiales, système d'indicateurs et SIG pour l'évaluation de la vulnérabilité des côtes face aux pollutions par les hydrocarbures.

Nota Bene : Le IV.2.1 est dérivé d'un article : Référence : Fattal P., Maanan M., Tillier I., Rollo N., Robin M. & Pottier P., 2010, Coastal vulnerability to oil spill pollution: the case of Noirmoutier island (France), Volume 26, Issue 5 (September 2010) pp. 879-887, Florida, USA.

IV.2.1.a Problématique et présentation de la zone d'étude

Les déversements accidentels d'hydrocarbures en mer ont des impacts non seulement sur l'environnement marin mais également sur les activités humaines que celui-ci supporte. Bien que ces pollutions aient été largement réduites depuis trente ans (depuis 24,2 épisodes par an dans les années 1970 jusqu'à 7,3 épisodes par an dans les années 1990 en moyenne (ITOPF, 2003)), elles restent une source importante de contamination du milieu marin (Clark, 2001; Vieites & al., 2004; Freire & al., 2006).

La nécessité de concevoir des plans de prévention et d'intervention lors des déversements est donc toujours effective. Les contributions scientifiques à la réalisation de tels documents et à l'étude de la vulnérabilité des côtes face à ces pollutions sont très nombreuses (Hanna, 1995 ; Moe & al., 2000 ; Liu & Wirtz, 2005 ; Kaiser & Pulsipher, 2007 ; Wieczorek & al., 2007). Elles s'attachent pour la plupart à chercher à évaluer les impacts du polluant sur le milieu, discriminant des secteurs plus vulnérables sur la base de critères géomorphologiques, d'exposition et de sensibilité biologique. Ces approches s'inspirent de l'ESI (Environmental Sensitivity Index) développé notamment par Gundlach et Hayes (Gundlach & Hayes, 1978) puis O'Sullivan et Jacques (O'Sullivan & Jacques, 1991).

C'est en s'appuyant notamment sur l'expérience de l'Erika (environ 20 000 tonnes de fuel lourd n°2 déversées en 2000 sur le littoral atlantique français), et sur le constat de la difficile classification en degrés de vulnérabilité des côtes pour les priorités et méthodes de dépollution, que nous mèneront notre analyse. Car en effet, comme le note Brewster (Brewster, 2002) la vulnérabilité des côtes face à des déversements de pétrole est complexe. Elle peut être définie comme la combinaison de paramètres

environnementaux (type de côte, exposition à l'énergie marine, sensibilité biologique du milieu (Nansingh & Jurawan, 1999) et persistance du polluant à la côte) et sociaux économiques (évaluations des impacts sur les activités humaines, coûts de nettoyage et préparation à la gestion de la crise) (Etkin & French-Mac Kay, 2002 ; Roberts & Crawford, 2004 ; Fattal, 2006)). Et si de plus en plus de travaux apportent un éclairage sur la définition d'un indice de vulnérabilité globale intégrant à la fois des éléments bio-morpho-sédimentaires et socio-économiques (CAMCAT, 2003 ; Wirtz & Liu, 2006) les exemples de mise en œuvre ne sont pas légion.

Afin d'analyser la faisabilité et la pertinence de l'implémentation d'un tel indice, nous avons choisi de travailler sur le secteur de l'île de Noirmoutier. Comme le montre la figure 54, ce terrain présente une diversité environnementale et socio-économique à même de tester notre méthodologie. En effet, le trait de côte est varié. La côte ouest exposée au flux dominant est majoritairement composée de plages de sable alors que le nord présente des côtes plus rocheuses (falaises basses et platiers). La côte est (abritée des flux dominants d'ouest) est quant à elle presque totalement artificialisée avec la construction de digues en arrière des vasières de la baie de Bourgneuf. Enfin, différentes activités dont le tourisme et la conchyliculture (15 000 tonnes de coquillages produites par an) sont présents autour de l'île.

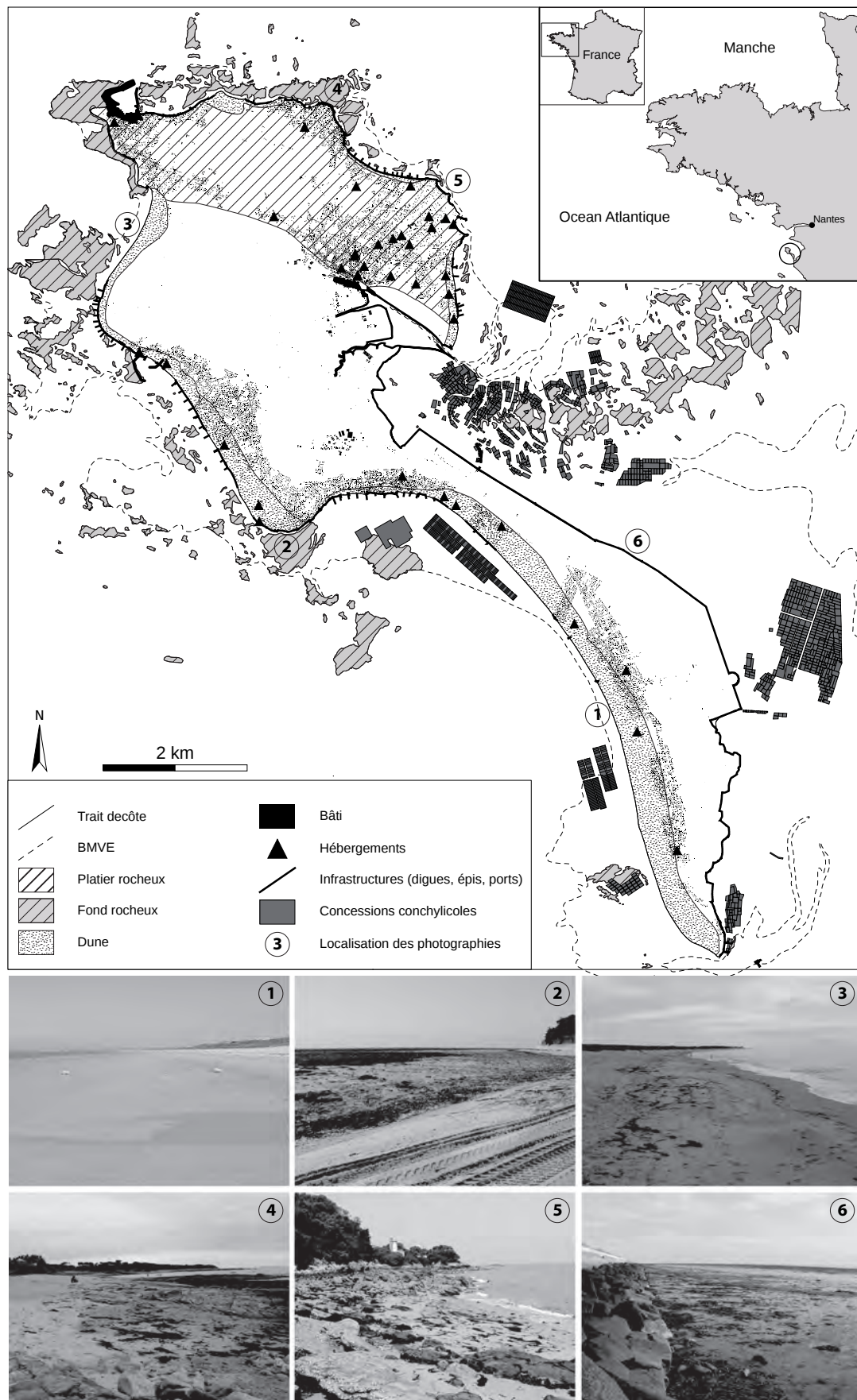


Figure 54 : : Présentation de la zone d'étude (Fattal & al., 2010).

IV.2.1.b Méthodologie et mise en œuvre

Pour mettre en œuvre notre analyse sur l'île de Noirmoutier, nous avons choisi d'utiliser un scénario connu : celui de l'épisode Erika en 2000 (Beurier & Pouchus, 2005). Ce cas connu (flux d'ouest avec météorologie marine agitée) nous permet d'évaluer la viabilité de notre travail (comparaison terrain/modélisation).

Les bases de la structuration de l'analyse spatiale sont détaillées dans des publications plus spécialisées (Fattal, 2006 ; Fattal & al., 2010).

La méthodologie d'agrégation de l'information géographique dans un système d'indicateurs est restituée dans la figure 55 sous forme d'un modèle conceptuel simplifié. Les poids des différents objets élémentaires composent des indices synthétiques par le biais de formules intégrant des pondérations justifiées dans les références citées précédemment. Ce système d'indicateurs relate les interactions (agrégation et composition essentiellement) entre objets géographiques rentrant en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité des côtes aux pollutions par hydrocarbures.

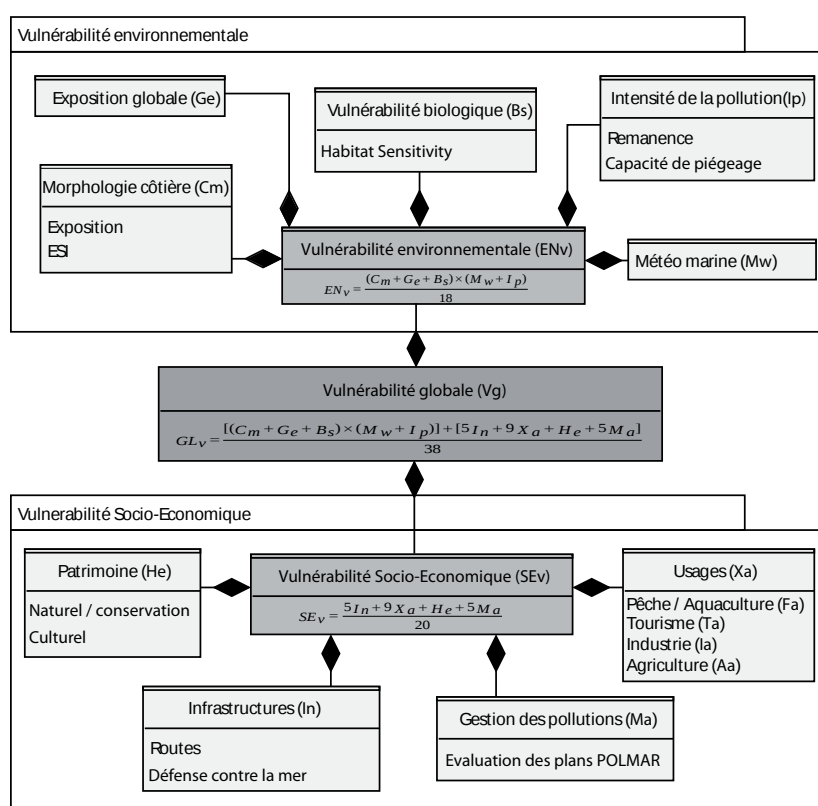


Figure 55 : Modèle conceptuel de la méthode d'évaluation de la vulnérabilité des côtes face aux pollutions par hydrocarbures (Fattal & al., 2010).

Ce système d'interactions est appliqué aux côtes de l'île de Noirmoutier découpées en secteurs morpho-cardinaux, issus d'une intersection entre le type de côte et l'angle d'exposition par rapport au flux météorologique défini dans le scénario (figure 56). Ceux-ci sont étendus à 3 kilomètres en mer pour prendre en compte les habitats marins et 500 mètres à terre pour évaluer les impacts sur les infrastructures).

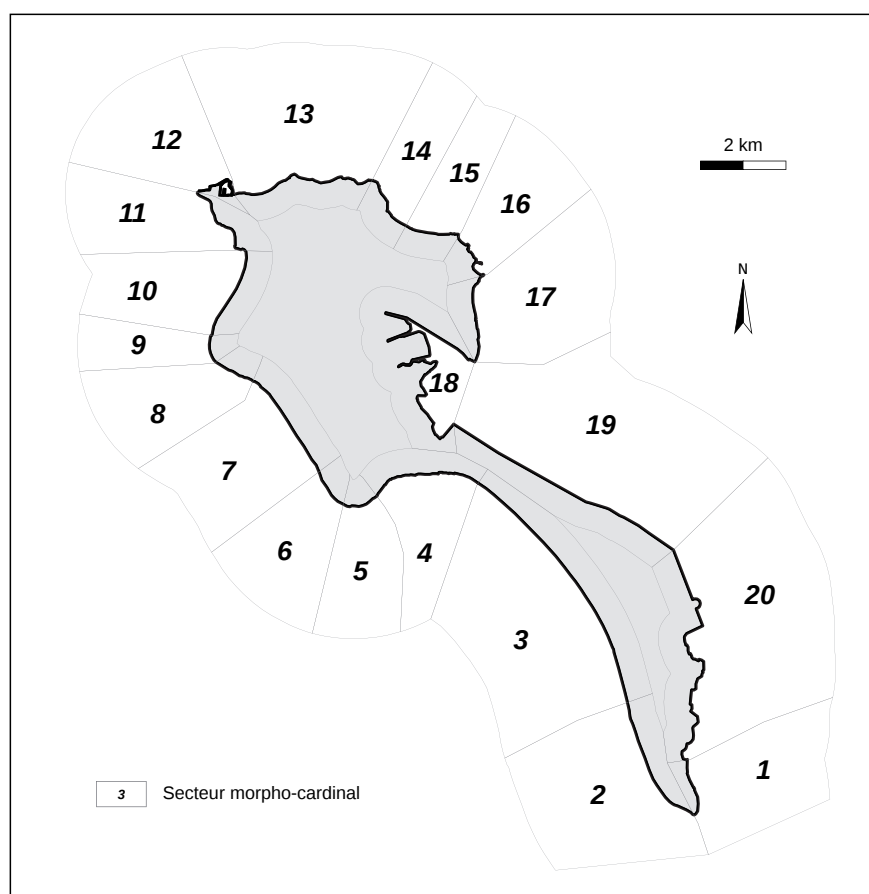


Figure 56 : Segmentation de l'île de Noirmoutier en secteurs morpho-cardinaux (Fattal & al., 2010).

Ce type de démarche nécessite l'utilisation de nombreuses données de différents types (spatiales et statistiques ; qualitatives et quantitatives) et sources (grands producteurs de données comme l'IGN et le SHOM mais aussi données terrain, etc.). La constitution d'une base de données relationnelle formalisée pour la production d'un système d'indicateurs représente donc un réel défi conceptuel et technique.

Du point de vue de la méthodologie géomatique mise en œuvre, le Modèle Conceptuel de Données (figures 57 et 58, MCD scindé en deux figures pour raison de lisibilité) a été implémenté dans le logiciel SIG MapInfo. Cela a été une contrainte liée aux partenariats avec des opérationnels utilisant ce logiciel. En effet, contrairement à d'autres SGBD/SIG, MapInfo ne repose pas sur une approche objet. Les classes

d'objets spatiaux ont donc été stockées dans des tables mais les méthodes associées (calculs des indices, etc.) ont été dérivées de requêtes algébriques (calcul des indices) et topologiques (intersections des données avec les secteurs morpho-cardinaux). La structure relationnelle a, quant à elle, été gérée par la gestion de base déportée sous MS Access (liens DBMS).

La phase de modélisation conceptuelle permet de garantir la cohérence sémantique des relations entre objets géographiques manipulés, depuis la conceptualisation jusqu'à la représentation des indices. Dans ce cadre d'utilisations de données multi-sources et multi-scalaires, le travail de désagrégation/ré-agrégation de données a nécessité une attention particulière. En effet, comme le précise le MCD, les objets géographiques de base subissent un découpage, et une distribution des données attributaires, à l'échelle des secteurs morpho-cardinaux. Les données issues de ce premier traitement sont ensuite ré-agrégées via les formules de calcul des indices pour permettre leur représentation synthétique.





IV.2.1.c Résultats et discussion

La vulnérabilité des segments côtiers de l'île de Noirmoutier face à une pollution pétrolière dans le scénario défini peut être synthétisée par les figures 59 et 60. L'analyse détaillée présentée dans (Fattal, 2006 ; Fattal & al., 2010) met en évidence le poids des différentes variables de base dans les résultats. La spatialisation des enjeux humains et environnementaux se retrouve bien dans les résultats. Les pondérations de variables et les choix de discrétisations semblent donc être pertinents. Par exemple, les secteurs sud est de l'île apparaissent comme ayant une forte sensibilité bio-morpho-sédimentaire, justifiée par leurs caractéristiques (vasières avec rémanence potentiellement forte du polluant). De la même manière, le secteur à l'extrême sud ouest abritant des récifs d'hermes ressort comme particulièrement vulnérable. En termes d'enjeux humains, les zones présentant des implantations conchylicoles denses apparaissent clairement et viennent pondérer l'indice de vulnérabilité global (cas du secteur n°3 au sud ouest de l'île abritant un grand linéaire de bouchots).

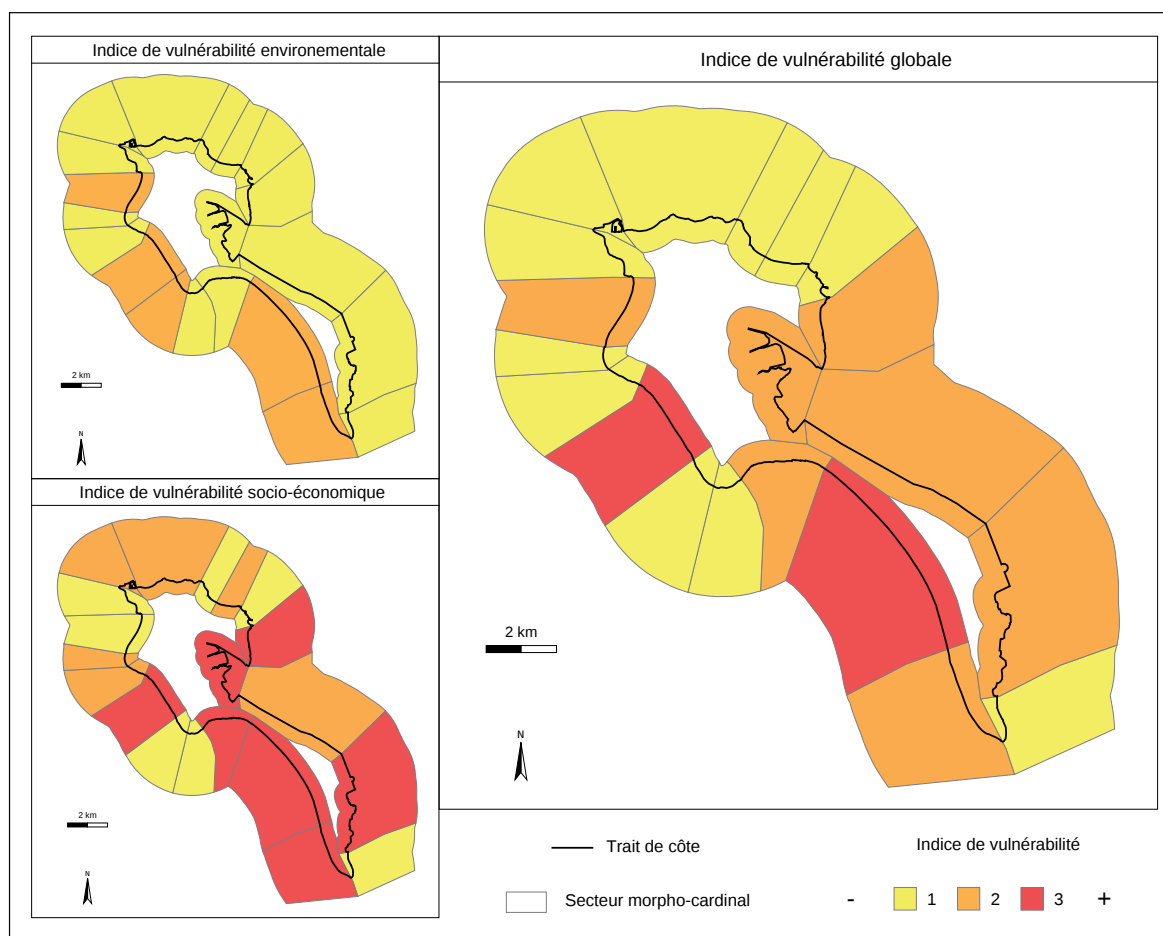


Figure 59 : Cartes de synthèse des trois principaux indices de vulnérabilité (Fattal & al., 2010).

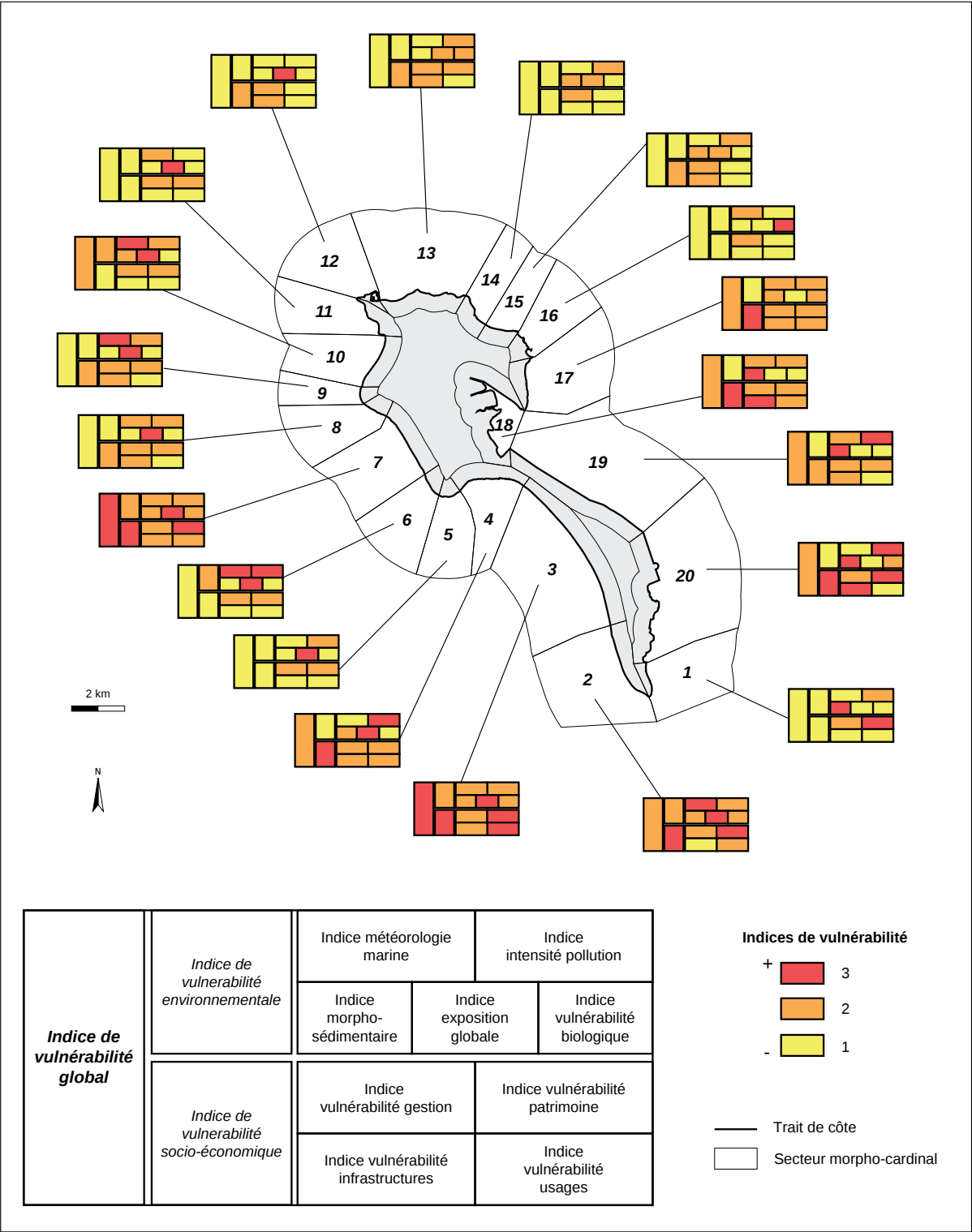


Figure 60 : Carte de synthèse des indices de vulnérabilité (Fattal & al., 2010).

D'un point de vue thématique, ce travail se pose donc comme contributeur à la prise en compte d'une plus grande complexité dans l'analyse de la vulnérabilité des côtes face aux pollutions pétrolières.

D'un point de vue méthodologique, la phase de modélisation conceptuelle permet de gérer cette complexité d'un bout à l'autre de la démarche. Cela a permis l'intégration de données multi-types et multi-sources, leur traitement et le développement d'un système d'indicateurs pour la cartographie de la vulnérabilité. L'information géographique a gardé sa cohérence depuis la conception jusqu'à la représentation.

De plus, cette structuration a permis de créer une base propre dans laquelle il est aisé de modifier des paramètres pour en évaluer les impacts sur les cartes-résultats. Les mises à jour sont donc facilitées. Dans cette optique de mise à jour, il serait intéressant d'enrichir ce travail par des aspects temporels sur les objets de base pour tester des possibilités de différenciations saisonnières de la vulnérabilité. Cela pourrait concourir à la réalisation de documents opérationnels sur cette thématique qui intégreraient différents scénarii permettant de s'adapter à des situations variées de pollutions par les hydrocarbures.

IV.2.2 Un SIG pour la gestion des mouillages autour de l'île de Noirmoutier

Nota Bene : Le IV.2.2 est dérivé d'un article : Référence : Tillier I., 2010, Apports d'un Système d'Information Géographique pour la gestion des mouillages forains sur l'île de Noirmoutier, Cahiers Nantais 2010/2, Nantes, France.

Un deuxième exemple d'application de modélisation d'information géographique vient compléter celui sur la vulnérabilité des côtes face aux pollutions pétrolières. Celui-ci concerne plus directement l'analyse spatiale des conflits d'usages.

Ce travail est basé sur une étude prospective menée en partenariat avec la Communauté de Communes de l'île de Noirmoutier dans une optique de restructuration spatiale des mouillages pour navires de plaisance autour de l'île. La problématique part du constat de la multiplication des mouillages forains et des pressions spatiales exercées par cette occupation sur d'autres activités. Ces interactions génèrent, dans certains cas, de réels conflits mais plus souvent des potentialités de conflits d'usages.

Pour créer une base de discussion objective avec les acteurs dans un objectif de résolution de ces antagonismes, la mise en place d'une méthodologie d'acquisition de données, la structuration d'un Système d'Information Géographique ainsi que la construction de scénarii prospectifs ont été réalisées. C'est ce déroulement qui est décrit ici, en soulignant les apports d'un tel outil pour l'évaluation de la capacité de charge et la planification spatiale des espaces proches du rivage.

Inséré dans un espace navigable ligérien riche de nombreux ports, l'Île de Noirmoutier (Vendée) se trouve à proximité d'un bassin de navigation notable (baie de Bourgneuf) et constitue également une étape privilégiée pour des navigations vers l'Île d'Yeu ou vers la zone des Pertuis plus au sud (Bernard, 1993 ; Association Vendéenne des Elus du Littoral, 1998 ; Sonnic, 2004 ; Tonini et Trouillet, 2005 ; Bernard & Bouvet, 2009). La situation de cette île ainsi que la proximité d'importants sites de pêche de loisir amène une fréquentation saisonnièrement intense de la mer par les plaisanciers sur ce secteur.

Ainsi, depuis de nombreuses années la capacité « officielle » d'accueil de navires de plaisance semble être dépassée par la fréquentation (notamment estivale), comme en témoigne la multiplication quasi exponentielle des mouillages forains autour de l'île.

La pression spatiale exercée par l'implantation de ces mouillages « sauvages » sur d'autres usages, comme la baignade ou la conchyliculture, s'exprime à travers un certain nombre de situations de conflits. Ces conflits liés à des usages antagonistes d'un même espace peuvent être classifiés en différents grands types.

L'observation de cette problématique récurrente par les gestionnaires est la base du partenariat qui a été entrepris entre le laboratoire de Géographie Géolittomer (UMR LETG CNRS – Université de Nantes), la Communauté de Communes de l'Île de Noirmoutier (CCIN) et l'association noirmoutrine Escale Nautique. Le but de l'étude menée était de chercher à expliciter les interactions spatiales entre les différentes activités ayant parti pris sur cette problématique. La production de documents d'inventaire, notamment cartographiques, communément admis par les acteurs se place dans la démarche préalable à la mise en place de scènes de gestion lors desquelles des scénarii prospectifs d'intervention seront définis.

IV.2.2.a Une pression spatiale croissante des mouillages forains dans le contexte noirmoutrin.

L'île de Noirmoutier se situe au Sud de l'estuaire de la Loire, faisant face à la côte de Jade et fermant la baie de Bourgneuf à hauteur de la pointe de l'Herbaudière. C'est un espace touristique important du littoral vendéen, qui attire un public balnéaire essentiellement familial, originaire pour les deux tiers environ du grand ouest français (CCI Vendée, 2008). L'attractivité pour la pratique d'activités de loisir tels le nautisme ou la pêche est forte et cultivée par le marketing territorial des professionnels du tourisme. La plaisance et la pêche-plaisance sont donc des activités très répandues et de nombreux estivants « habitués » possèdent des petits navires leur permettant de s'adonner à la voile et/ou à la pêche en mer (ligne, casiers, filets, palangres...) lors de leur séjour.

Comme figuré sur la figure 62, l'importance de cette activité récréative alliée à la relativement faible capacité d'accueil dans les ports de l'île et à la prépondérance des estrans larges autour de l'île (que l'on trouve surtout sur la côte est, plus abritée mais

également sur la côte ouest avec les grands platiers rocheux prolongeant différentes pointes) explique la multiplication des mouillages forains observée autour de l'île.



Figure 61 : Exemple d'un secteur de mouillage forain vers le Vieil à Noirmoutier en l'île et structure d'un mouillage (Tillier, 2010).



La constitution de ce type de mouillage est simple : un corps mort (souvent un vieux pneumatique de voiture rempli de béton) sert de lest et est relié à une bouée d'amarrage par une chaîne (ou plus rarement un bout) (figure 61). L'utilisation de certains matériaux a,

en fonction de leur vétusté, un impact notamment sur la sécurité vis-à-vis des autres acteurs (exemple classique du baigneur se coupant sur une chaîne très corrodée).

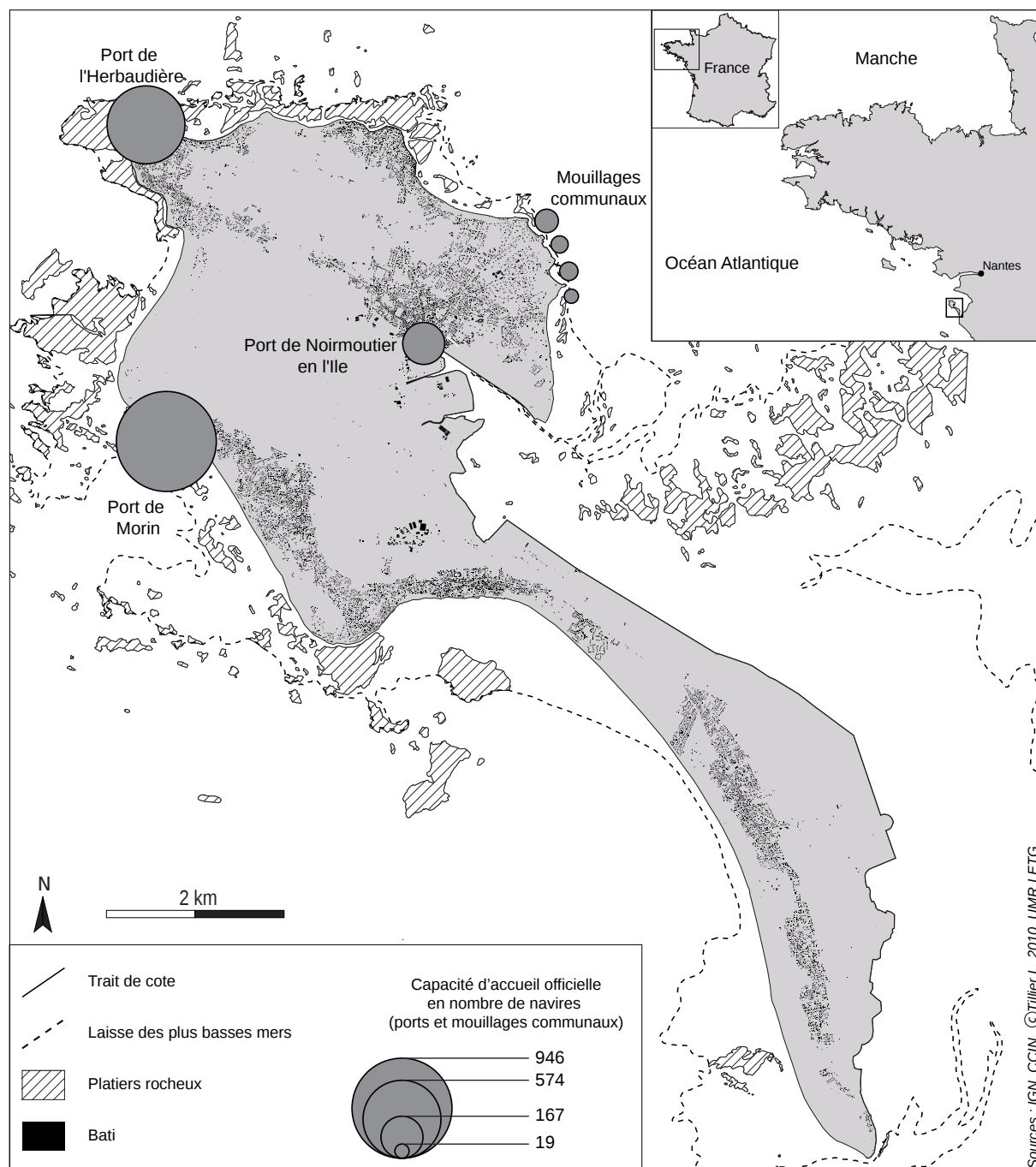


Figure 62 : Présentation de l'espace d'étude (Tillier, 2010).

Les aspects réglementaires constituent une autre facette de la problématique. Elle ne sera pas explorée ici. On peut néanmoins noter que, si le terme de mouillage forain renvoie initialement à la possibilité de cabotage pour les navires trouvant des mouillages lors d'itinéraires, il n'en reste pas moins que ce principe est une simple tolérance. En théorie, de telles infrastructures nécessitent l'obtention d'Autorisations d'Occupation Temporaire (AOT) du Domaine Public Maritime. La gestion financière des redevances est un autre aspect dans le cadre de cette démarche d'optimisation de la localisation des mouillages autour de l'île de Noirmoutier (aspect qui ne rentrera pas dans notre propos).

La pression spatiale exercée par la présence non autorisée d'embarcations au mouillage échouant (pour la plupart) sur des espaces de pratique d'autres activités explique un certain nombre d'antagonismes entre acteurs et de conflits potentiels. Les cas de conflits sont cependant complexes et ne peuvent être réduits à des interactions spatiales : ils font appel autant aux représentations des acteurs sur le territoire et sur les autres acteurs qu'à des aspects strictement spatio-temporels liés aux pratiques. Dans le cadre imparti à cette étude, c'est sur le deuxième élément que nous nous sommes concentrés.

Comme préalable à l'acquisition de données, une première analyse spatiale a été menée pour chercher à définir les interactions spatiales en jeu. Les problématiques concernent soit des gênes pour les accès aux cales de mise à l'eau soit des incompatibilités pour la sécurité du déroulement d'autres usages. Elles sont détaillées dans la figure 63. On voit que cette thématique des mouillages forains cristallise clairement un certain nombre de problématiques rencontrées sur le littoral (oppositions activités professionnelles - récréatives, traditionnelles – nouvelles, etc.). Il est aussi à noter que la dégradation de l'environnement, comme évoquée sur d'autres territoires (Peuziat, 2002 ; Préfecture du Morbihan, 2005 ; Nardin & al., 2008), est étonnamment peu présente dans les problématiques évoquées par les acteurs.

<i>Activités impactées par la présence des mouillages forains</i>	<i>Problématiques détaillées</i>
Conchyliculture	Accès aux cales pour mise à l'eau des plates et circulation des engins
Plaisance et activités de nautisme léger (planche à voile, kitesurf...)	Encombrement des chenaux d'accès aux cales de mise à l'eau et dangerosité des installations (chaines et bouées)
Baignade	Dangerosité des installations (corps morts, chaines et bouées) et de la navigation
Petite pêche (professionnelle et de loisirs)	Contraintes pour la navigation et les sites de pêche et encombrement des chenaux d'accès aux cales de mise à l'eau

Figure 63 : Typologie des conflits d'usages liés à la présence des mouillages forains (Tillier, 2010).

IV.2.2.b Acquisition et structuration de données spatiales.

Afin de construire un outil adapté à la mesure des interactions spatiales et à l'explicitation de ces différents antagonismes, la première étape a consisté à acquérir les données sur les usages. Nous disposons déjà de différentes données spatiales et attributaires sur les cales de mise à l'eau sur l'île et leurs utilisations, les zones de baignade (discriminées par intensité de fréquentation), la localisation des écoles de voile, des zones de pêche et celle des concessions marines. Des données manquantes, notamment sur les territoires de pratique d'activités comme le kite-surf ou la planche à voile, ont été complétées de manière mixte : à dire d'experts et par des relevés de terrain. Mais, au cœur de notre problématique, les lacunes en termes d'information géographique sur l'implantation des mouillages forains nous ont forcés à tester différentes méthodes d'acquisition de données, avant de valider un protocole d'acquisition en adéquation avec la granularité spatiale souhaitée.

La photo-interprétation a été la première piste. A partir de l'orthophotographie littorale datant de 2000 (IGN), nous avons donc numérisé les navires au mouillage autour de l'île. Même si les photographies aériennes utilisées correspondaient à une période de forte fréquentation (période estivale), il est assez vite apparu que de nombreux navires n'étaient pas présents au mouillage (la résolution spatiale des images ne nous permettant pas de repérer les bouées seules). Après vérification de terrain sur quelques sites, le décalage entre la donnée issue de photo-interprétation et

la donnée terrain s'avéra être trop important pour permettre la validation de l'acquisition par photo-interprétation. De plus cette méthode ne permettait pas la qualification des mouillages et des navires. A l'issue de ce constat, une méthode d'acquisition par relevés de terrain s'est imposée. De cette manière, il était possible à la fois de positionner plus finement les mouillages (utilisation d'un DGPS) mais aussi de renseigner les mouillages par des caractéristiques sur les navires (taille, type, photographie, etc.).

Pour l'analyse spatiale et la production cartographique, les données collectées ont été intégrées dans un Système d'Information Géographique en adoptant le modèle conceptuel décrit dans la figure 64. Ce modèle a été implémenté dans le logiciel MapInfo dans lequel chaque classe d'objets devient une table et où les relations, notamment d'ordre topologique, sont dérivées de requêtes SQL.

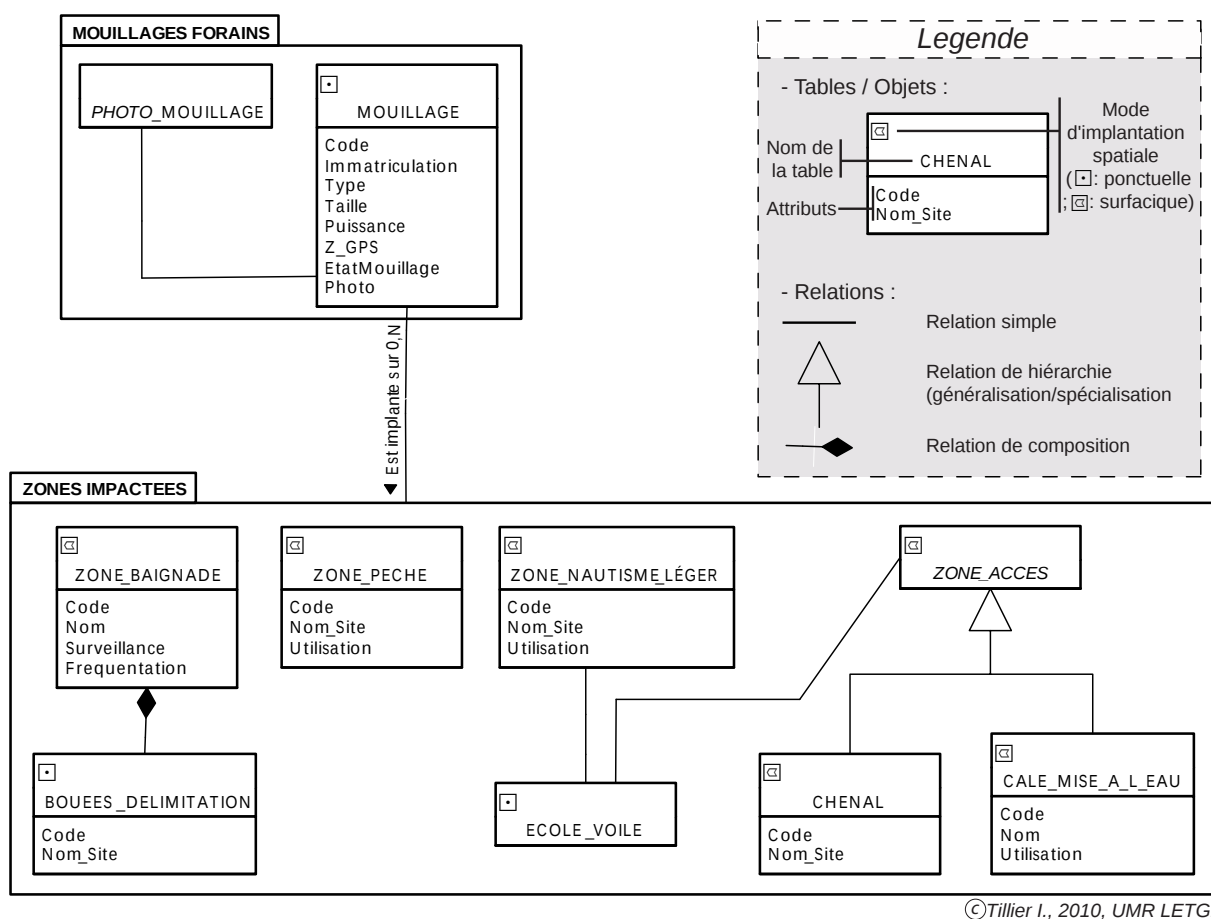


Figure 64 : Modèle Conceptuel de Données (MCD) utilisé dans le SIG (Tillier, 2010).

IV.2.2.c Résultats et perspectives d'utilisation dans le cadre de scènes de gestion.

Le travail de relevés de terrain concernant les mouillages forains a permis de vérifier la nécessité de ce protocole d'acquisition. En effet, si sur l'orthophotographie nous avons comptabilisé 1012 navires au mouillage, le levé GPS a permis de mettre en évidence la présence de 1341 infrastructures de mouillage forain, soit 32,5% de plus. Cette différence s'explique par le recensement sur le terrain de mouillages sans navires présents, ce que la résolution spatiale des photographies aériennes ne permettait pas. Nous avons également pu qualifier les mouillages dont près de 69% sont échouants. De même, sur les 724 navires présents (53%), la flottille présente des caractéristiques liées à l'échouage : une majorité de petits navires (taille moyenne : 4.5m avec seulement 15 navires supérieurs à 8m) de type pêche-plaisance (430 navires soit 67% sans cette catégorie). Toutes ces données sur la structure de la flottille sont très importantes, dans l'objectif de restructuration des zones de mouillages car elles apportent un cahier des charges sur les spécifications des sites d'implantation.

Sur le plan de la spatialisation, cela nous a permis de mettre en évidence de grandes disparités spatiales dans les densités comme le montre la figure 65. Les mouillages forains sont essentiellement localisés dans des secteurs relativement abrités des grands flux d'ouest (la côte nord est de l'île (entre la pointe des Charniers et la pointe du Fort Larron) et la côte ouest médiane à l'abri de la pointe de la Loire) et proches des zones d'habitation.

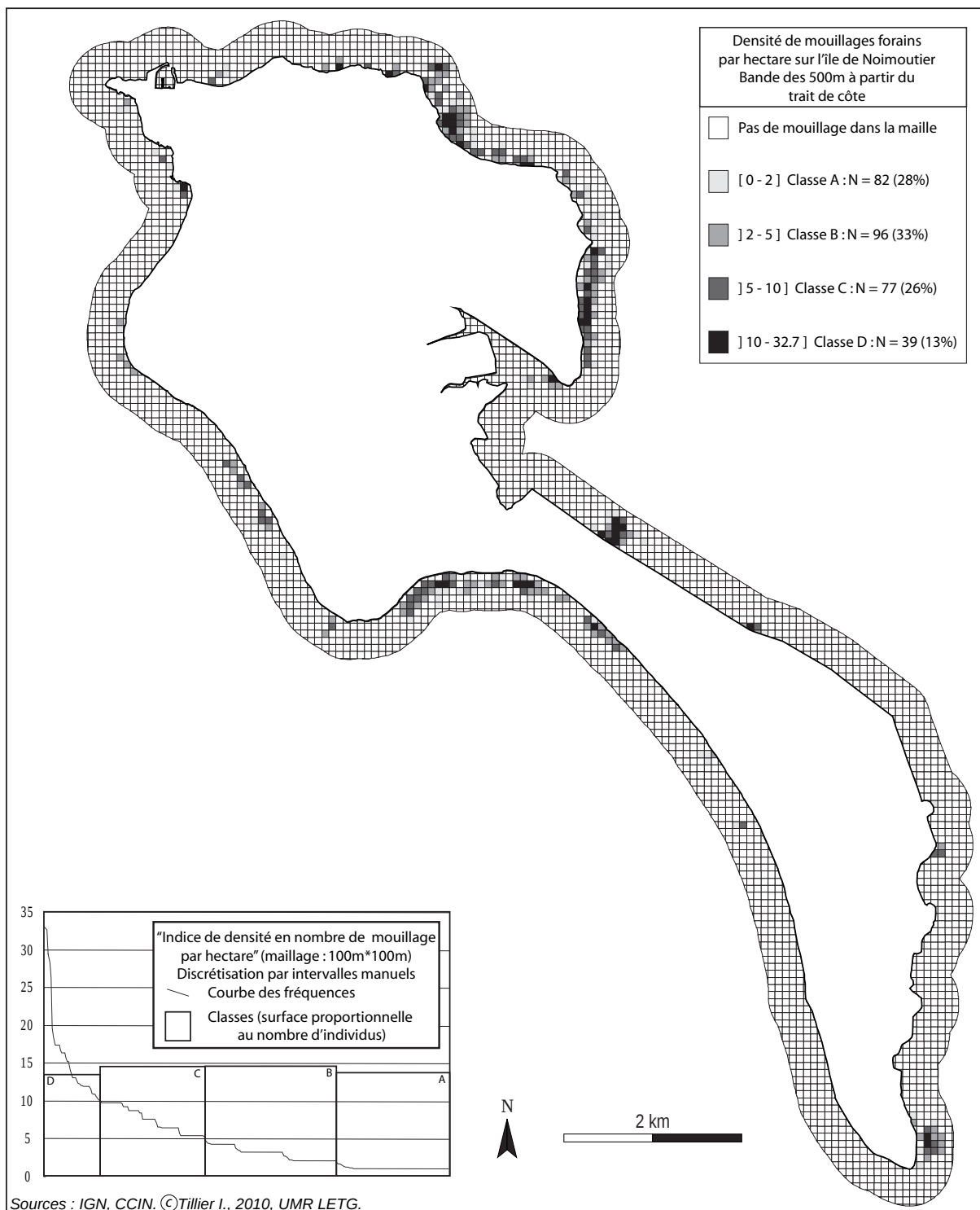


Figure 65 : Densité de mouillages par hectare dans la bande des 500 mètres autour du trait de côte de l'île de Noirmoutier (Tillier, 2010).

Comme il a été expliqué précédemment, cette occupation spatiale provoque, à une échelle fine, une multitude de tensions et conflits d'usages. L'acquisition de données à une granularité spatiale fine permet d'effectuer une analyse des interactions spatiales à différentes échelles :

- Tout d'abord à l'échelle de l'île, on peut mettre en relation l'implantation des mouillages forains avec celle des usages impactés pour chercher à mettre en avant des secteurs d'étude prioritaires. Cette démarche permet d'intégrer des pondérations temporelles à travers une estimation de la présence ou de l'absence de certaines activités à des saisons données. Pour la baignade, la zone de présence s'étend par exemple de juin à septembre. Cela permet d'ajouter une couche d'information supplémentaire et de préciser des zones de conflits potentiels. C'est cependant à l'échelle du site que la qualification des interactions peut être effectuée.

- On peut en effet détailler quelques cas d'interactions spatiales problématiques, à l'échelle d'une plage ou d'un tronçon côtier. Ainsi, sur le secteur des Sableaux (nord est de l'île), la très forte pression balnéaire, avec la présence de campings et hôtels à proximité immédiate du trait de côte (capacité d'accueil journalière : 3023 nuitées), a mené à la délimitation d'un secteur de baignade surveillée lors de la période estivale (figure 66). L'analyse spatiale par le biais du SIG a permis de mettre en évidence, et de quantifier des interactions spatiales problématiques. Ainsi, la présence de 12 mouillages dans le périmètre de baignade pose des questions en termes de sécurité. Car, si à marée haute, ils sont assez distants de la plage (80 à 100m), le reste du temps ils se retrouvent sur l'espace de baignade le plus pratiqué par les familles. Si l'on tient compte des différentes possibilités de dérive par rapport aux corps morts (7m de longueur de chaîne en moyenne), les mouillages présentent une occupation spatiale non négligeable dans la zone de baignade (figure 66).

A partir de ces analyses fines des superpositions d'usages antagonistes, de leur qualification et quantification, nous avons ici un premier outil pour aider à la décision sur la détection et la relocalisation des mouillages les plus problématiques. Les enjeux de sécurité dans les zones de baignade et ceux liés aux accès à l'estran pour la conchyliculture ont été jugés prioritaires dans le cadre de la démarche menée. La mise en place de scènes de gestion pour aider à la résolution des conflits d'usages tarde actuellement à se mettre en place. Les priorités d'intervention en termes de gestion du

territoire ont en effet été révisées avec l'arrivée de la nouvelle équipe, élue en 2008. Si l'on ne peut donc décrire et analyser le rapport des acteurs avec l'outil présenté dans cet article, on peut néanmoins présenter les apports en termes de prospective que celui-ci autorise.

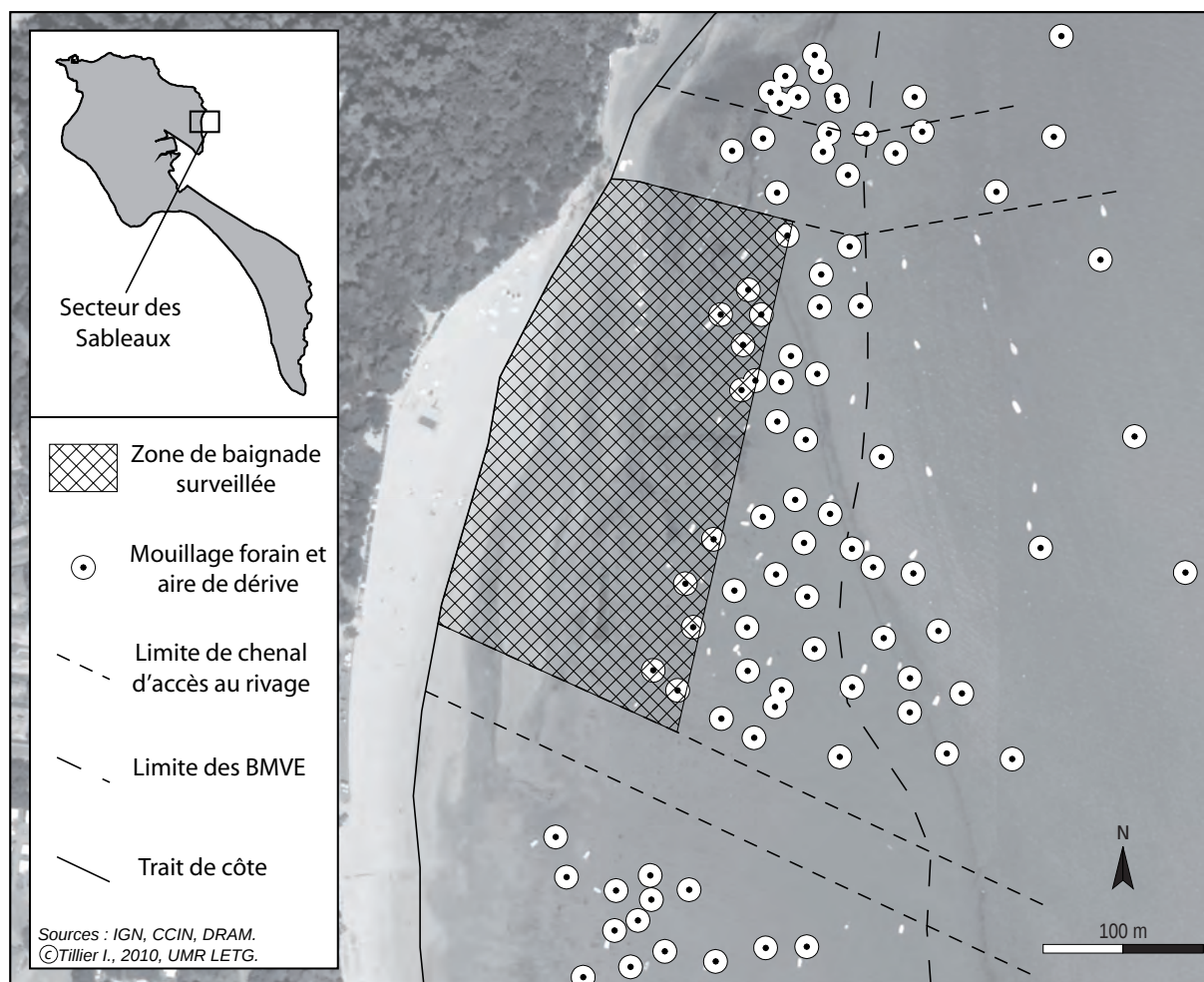


Figure 66 : Mouillages forains et baignade sur les secteurs des Sableaux (Tillier, 2010).

Il permet tout d'abord d'analyser des situations fines comme montrées avec l'exemple du secteur des Sableaux et de mettre en évidence des secteurs d'interventions prioritaires, en quantifiant les occurrences de superpositions spatiales entre les mouillages forains et d'autres usages. Ce travail est essentiel pour nourrir une discussion, la plus objective possible, entre acteurs sur des scénarii de gestion des mouillages, incluant les modalités d'intervention et de redistribution spatiale.

En lien avec cette analyse menée à une échelle fine, la base de données constituée permet également, à diverses échelles (du secteur à l'île entière), de proposer des solutions pour la redistribution spatiale de mouillages problématiques. La

détermination de sites d'implantation potentielle en fonction d'un ensemble de critères bathymétriques, sédimentologiques, d'accessibilité, de recherche des moindres conflits d'usages, etc. est en effet rendue possible par l'utilisation du SIG.

IV.2.2.d Conclusion

La construction d'outils utiles à la gestion intégrée des zones côtières est un des enjeux importants pour les acteurs de ces espaces (scientifiques inclus). Ce court développement présente un exemple de travail allant dans ce sens, orienté sur la gestion des usages sur les espaces proches du rivage. Le modèle développé est à la fois utile au repérage de situations de pression spatiale des mouillages forains sur d'autres usages et à la régulation de ces pressions. Il repose sur une démarche d'analyse des conflits d'usages par les interactions spatiales (Tillier & Robin, 2008). Il peut se concevoir comme un outil d'évaluation de la capacité de charge (Pottier & al., 2009) en mouillages forains des espaces proches du rivage, au regard des autres usages. La capacité de cet outil en termes d'aide à la décision reste à tester dans le cadre de scènes de gestion.

Des améliorations sont possibles via l'insertion de variables supplémentaires. L'insertion des aspects temporels sur les mouillages représenterait une plus-value par rapport à une analyse spatiale traditionnelle. Mais cette plus-value apparaît limitée dans la mesure où les autres usages en jeu ont également une connotation temporelle très marquée, en lien avec la vocation touristique du territoire. Les usages en jeu connaissent leurs pics d'intensité durant les mêmes périodes de l'année. Néanmoins, la définition de calendriers de pratiques pour pondérer les interactions spatiales observées à un instant « t » (Tissot & Cuq, 2004) est une piste de développements ultérieurs. Il serait également pertinent de réfléchir à l'intégration d'une autre variable de pondération aux interactions spatiales, en intégrant des aspects économiques à l'analyse. Enfin, en lien avec des travaux et problématiques récentes (Peuziat, 2004), la mise en relation de cette occupation spatiale « sauvage » avec des dégradations de l'environnement pourrait contribuer à l'aide à la restructuration spatiale de l'activité dans un contexte multifactoriel.

IV.3 Les apports et les limites des approches cartographiques statiques pour la compréhension des conflits d'usages en zone côtière

A travers la recherche d'une grille d'analyse, puis avec la mise en œuvre de deux cas d'études sur les thématiques des risques et des conflits d'usages, nous avons cherché à montrer les possibilités offertes par les outils d'analyse spatiale statique pour l'explicitation d'interactions complexes en zone côtière. Concernant les conflits d'usages, les approches de cartographie, telle celle développée sur la thématique des mouillages forains à Noirmoutier, a permis de tester une méthode de détection de conflits potentiels par SIG. Cet exemple a également été utilisé pour démontrer l'utilité de documents cartographiques dans la résolution de conflits avérés.

IV.3.1 Les apports

Ils s'organisent autour de la structuration de l'information géographique, de la fourniture de SIG orienté sur la thématique traitée et de la hiérarchisation des bases de données et des cartes produites.

IV.3.1.a Une démarche conceptuelle intrinsèquement productrice de connaissance

Dans les phases de modélisation conceptuelle développées précédemment, la réflexion menant à la réalisation de Modèles Conceptuels de Données consiste, sur un plan systémique, à la définition du système. Borner le système, définir ses grands objets et interactions sont en effet des actions préalables à leur étude en détail (Guermond, 1984 ; Guermond, 2005 ; Pantazis, 2006 ; Moine, 2008). Cette démarche de formalisation est donc intrinsèquement productrice de connaissance. Elle constitue la base de la construction d'un modèle à forte valeur heuristique, pouvant être reproductible sur d'autres espaces d'étude.

Dans l'exemple des pollutions par hydrocarbures, le travail a essentiellement consisté en une démarche de décomposition/recomposition d'objets spatiaux interagissant dans l'évaluation de la vulnérabilité des côtes. L'enjeu était d'appliquer une démarche normalisée, orientée tout d'abord sur la définition et la qualification des

objets spatiaux de base, puis, sur leur intégration dans un système d'indicateurs. L'utilisation du formalisme UML enrichi de contraintes spatiales a ainsi forcé à redéfinir ou préciser les objets et paramètres pris en compte dans l'évaluation de la vulnérabilité.

Par exemple, sur la base de données bibliographiques, nous avons redéfini des indices existants, tel l'Environmental Sensitivity Index, en combinant des paramètres existants sur des objets spatiaux différents de ceux classiquement utilisés (secteurs morpho-cardinaux surfaciques, au lieu des segments de côtes linéaires). L'évaluation a également été enrichie via l'analyse de nouveaux composants, notamment socio-économiques, de la vulnérabilité. Dans ce travail, l'utilisation des relations hiérarchiques et d'agréations fournies par UML était clairement adaptée à la constitution de notre système d'indices emboîtés.

Sur l'exemple des conflits potentiels liés à la présence de mouillages forains sur l'île de Noirmoutier, l'approche de modélisation conceptuelle, bien que beaucoup moins complexe, a permis de définir les objets spatiaux interagissant dans le système et de borner l'étude avec les partenaires. Donc, même si les interactions prises en compte dans l'étude étaient préalablement connues par les participants, c'est sur le détail que la formalisation a apporté des questionnements. En effet, des éléments tels que les possibilités de dérives des navires autour des corps morts, ou encore la définition de chenaux d'accès non balisés par des bouées, ont fait l'objet de réflexions importantes dans la définition du système d'interactions spatiales.

IV.3.1.b Un chaînage méthodologique porteur de cohérence

Outre les apports intrinsèques de la démarche de formalisation, la continuité sémantique, depuis le modèle conceptuel vers le modèle de données et la cartographie, est un autre point fort des démarches présentées.

Créer une structure de stockage de données spatiales et de représentation, calquée sur l'analyse conceptuelle, est facilité par les approches reposant sur les formalismes orientés sur les objets spatiaux. La structure relationnelle même des bases de données produites permet d'intégrer une grande partie des relations topologiques et hiérarchiques, y compris le système de requêtes. Les aspects temporels, stockés sous forme d'attributs sont également mobilisables dans les analyses.

Cela permet d'utiliser une information géographique structurée sur la thématique, en accord avec l'analyse de l'expert. Le fonctionnement et la gestion de la base sont ainsi facilités, tout comme l'extraction de données et l'édition de cartes.

IV.3.2 Limites : une prospective assez limitée

Si les approches de cartographies statiques, reposant sur des modèles conceptuels orientés vers les objets spatiaux, apportent une plus-value certaine à l'information géographique qu'elles utilisent et à l'analyse des interactions complexes en zones côtières en général (Le Berre, 1999), un certain nombre de limites induites par ces démarches sont à mentionner. Certaines sont générales, d'autres plus liées aux travaux décrits plus tôt.

IV.3.2.a Une continuité sémantique partielle entre conception et réalisation

Une limite à la cohérence de ce type d'approches est liée à la continuité « réelle » entre conception et représentation. Car si la phase de modélisation conceptuelle est incontournable dans une démarche systémique, sa transcription dans le cadre d'une base de données se heurte à plusieurs difficultés (mettant parfois en jeu la continuité sémantique recherchée).

Dans le cadre des travaux collaboratifs que nous avons menés avec différents partenaires « opérationnels », des choix techniques partagés ont été réalisés. Certains choix ont clairement nui à la modélisation de l'information géographique utilisée et parfois même à son exploitation. Dans l'étude sur les mouillages forains à Noirmoutier, si l'utilisation d'ArcInfo d'ESRI semblait être l'option logicielle la plus à même de transcrire une approche objet via une geodatabase, la nécessité de disposer d'un outil partagé par l'ensemble des partenaires nous a contraint à utiliser MapInfo. Le but opérationnel a donc été volontairement privilégié.

Le logiciel MapInfo ne reposant pas sur une approche orientée objet, nous avons en partie contourné cette difficulté en utilisant une connexion DBMS avec le logiciel de base de données MS Access (Logiciel que tous les partenaires possédaient également). L'hébergement de la base sous Access a permis de conserver une structure relationnelle entre objets spatiaux (tables dans la base) mais a nécessité le

traitement externe des contraintes d'intégrité géométrique des objets et de leurs relations topologiques. En termes d'exploitation, cela a conduit à construire des requêtes intégrant des opérateurs topologiques, pour extraire l'information spatiale sur des zones de superposition d'usages notamment.

Dans le cadre particulier de cette étude, la continuité sémantique entre modélisation conceptuelle et modélisation de données n'est donc que partielle. Un autre cadre d'étude aurait permis de mettre en avant des orientations techniques plus performantes mais la méthodologie, dans les études présentées, a toujours été conçues comme étant au service des applications.

IV.3.2.b Des propriétés spatio-temporelles d'objets difficiles à gérer dans des SIG

Un autre aspect sur lequel les approches de cartographies statiques atteignent leurs limites pour l'analyse et la représentation des interactions complexes en zone côtière, est l'insertion du temps dans l'analyse.

Même si dans ce domaine, des progrès conceptuels et techniques ont été réalisés (Bédart & Caron, 1996 ; Parent & al., 2006), les attributs temporels des objets restent difficiles à gérer. La plupart des logiciels SIG permettent de les intégrer comme des attributs avec des valeurs booléennes (présence/absence de l'objet par exemple) sur un intervalle de temps. Mais concernant les temporalités des relations, il est complexe d'intégrer des contraintes temporelles sur des relations entre objets fonctionnant sur des pas de temps différents. Les questions de la discrétisation du temps et de la gestion de niveaux de granularité variables sont centrales et constituent la principale limite d'une gestion de la dimension temporelle au sein des SIG.

L'insertion de variables temporelles dans des bases de données reste donc une pratique performante dans le cadre de la Recherche mais s'est avérée difficile à implémenter dans un cadre plus opérationnel. Si les objets peuvent admettre des attributs temporels utiles pour la cartographie statique et la spatialisation d'usages saisonniers, des questions récurrentes sur l'efficacité de certaines requêtes persistent et représentent une limite forte.

La mise en œuvre de méthodes et d'outils, permettant de traduire des analyses spatiales conceptuelles en systèmes de gestion de données et de cartographies constitue un point important pour la compréhension, l'aide à l'explicitation ou l'anticipation des interactions spatiales générant des conflits d'usages. En termes de formalismes, l'utilisation de langages orientés vers les objets spatiaux se généralise. Différents enrichissements de l'Unified Modeling Language existent, pour aider à l'intégration d'éléments spatiaux (contraintes géométriques, topologiques) et d'éléments temporels. Ces apports à la formalisation sont d'ailleurs accompagnés par le développement et la mise à disposition de différents Ateliers de Génie Logiciel, permettant la modélisation de l'information géographique et la translation du niveau conceptuel vers le niveau physique (implantation dans un SGBD cible). Des exemples d'études menées autour des risques et conflits d'usages en zone côtière viennent illustrer la démarche de structuration d'informations et les résultats en termes cartographiques.

Les apports et les limites de ces méthodologies d'analyse sont également discutés. Parmi les limites de ce type d'outils, la prise en compte du temps apparaît peu satisfaisante pour la représentation des processus d'interactions spatiales. Autant les SIG permettent de représenter des objets spatio-temporels autant il est difficile de représenter des processus complexes, non linéaires, discontinus via ce type d'outil. Ce sont pourtant en grande partie des processus de ce type qui mènent à la construction d'antagonismes entre usages. Afin d'améliorer la prise en compte de la complexité dans l'analyse des conflits d'usages, il semble intéressant de se pencher sur les apports potentiels d'un autre type de modèle, les modèles dynamiques.

Chapitre V – Du statique au dynamique : la prise en compte du temps dans l'analyse des relations entre usages et des interactions Nature-Société

Si les approches spatiales des conflits d'usages font souvent appel aux SIG, ceux-ci intègrent rarement les temporalités des objets (Egenhofer & Golledge, 1998). Or, dans la plupart des cas de conflits, les relations entre objets s'effectuent dans l'espace et dans le temps. La prise en compte de la dimension temporelle est donc incontournable pour restituer la complexité des situations.

Le développement d'outils intégrant cette dimension temporelle est donc un enjeu majeur pour l'analyse des conflits d'usages. Ce développement admet deux orientations : (i) concevoir des couplages (ou chaînages) entre modèles de simulation et SIG (Brandmeyer & Karimi, 2000 ; Brimicombe, 2003 ; Argent, 2003 ; Batty, 2011) et (ii) développer des outils spécifiques de traitement de l'information spatio-temporelle au sein de bases de données relationnelles.

Dans le cadre du programme de recherche GERRICO²³, différents travaux ont été couplés pour l'analyse des faibles croissances des huîtres en baie de Bourgneuf (depuis la modélisation des transferts de matière et de polluants du bassin versant aux exutoires, jusqu'à leur dispersion en mer côtière et leur impact sur la croissance des huîtres et les rendements conchyliques (Haure & al., 2008 ; Lerouxel & al., 2009 ; Baud & Guillotreau, 2010). Afin de reconstituer le déroulement de l'activité ostréicole sous fortes contraintes environnementales en baie de Bourgneuf, un modèle de simulation a été développé. Les objectifs consistaient :

- A évaluer les implications de l'accroissement de la turbidité dans la baie sur le fonctionnement des structures de production.
- A mettre en évidence la variabilité des rendements aux échelles intra et

²³GEstion globales des Ressources marines et des Risques dans les espaces COtiers : www.gerrico.fr

interannuelles en fonction de stratégies de production et des conditions d'environnement.

- A évaluer les potentialités de redistribution spatiale des activités ostréicoles en offshore avec un double objectif : l'augmentation des rendements d'une part et la recherche d'une minimisation du risque de conflit d'usages d'autre part.

Ce chapitre présente donc tout d'abord la méthodologie mise en œuvre pour modéliser le déroulement de l'activité ostréicole dans le contexte du bassin de production Vendée-Atlantique. Il expose ensuite une approche spatiotemporelle permettant de mesurer le niveau d'interactions spatiales potentielles entre activités en mer. Cela a permis de contribuer à l'évaluation de la pertinence de redistributions d'une partie des concessions ostréicoles en offshore.

V.1 La plateforme DAHu (Dynamique des Activités Humaines), présentation et utilisation pour la simulation du déroulement de l'activité ostréicole en baie de Bourgneuf.

Nota Bene : La section VII.1 est dérivée d'un article : Référence : Tissot C., Brosset D., Barillé L., Le Grel L., Tillier I. et Rouan M., (soumis 2011), Modélisation du déroulement d'activités ostréicoles en zone côtière, Coastal Management, Taylor & Francis.

L'approche de modélisation exposée ici s'intègre au sein de la plateforme de simulation Dynamique des Activités Humaines (DAHU) (Tissot, 2003 ; Tissot & al., 2004). Celle-ci a pour vocation de simuler le déroulement d'activités anthropiques à fort impact environnemental et d'en étudier les interactions avec l'environnement. Son schéma de construction s'inspire de l'architecture multi-agents du point de vue conceptuel mais présente d'importantes différences dans la formalisation des relations entre les agents et leur environnement. Contrairement aux approches consacrées à l'analyse de l'évolution des dynamiques paysagères (Ashan & al., 2000 ; Bonnefoy & al., 2000 ; Parker & al., 2003 ; Rouan & al., 2010), l'espace n'est pas considéré comme un élément structurant du modèle mais plutôt comme une donnée de forçage, résultant de la combinaison de contraintes spatio-temporelles multi-échelles (Tissot, 2003). Cette originalité répond au besoin de formaliser un espace de simulation cohérent, intégrant

l'ensemble des facteurs socio-économiques, réglementaires et environnementaux affectant le déroulement des activités modélisées.

V.1.1 Présentation de la plate-forme DAHu – module Aquaculture

V.1.1.a Principes de modélisation associés au Module Aquaculture

La démarche proposée repose sur la constitution d'un modèle à intelligence artificielle distribuée, regroupant l'ensemble des éléments permettant de simuler le fonctionnement de ces activités, à l'échelle de la concession marine. L'approche se fonde sur la description technique du fonctionnement des activités modélisées. L'objectif est de constituer une série d'archétypes²⁴ intégrant l'ensemble des propriétés relatives aux orientations de production (captage, captage-élevage, demi-élevage, élevage pour l'ostréiculture par exemple), aux niveaux d'organisation spatiale qui leur sont associés (élevage à plat, en surélévation, en eau profonde) et aux espèces concernées (huîtres plates, huîtres creuses).

Cette phase descriptive est réalisée à l'issue d'une démarche d'inventaire permettant d'aboutir à une typologie hiérarchique des activités de cultures marines. Cette première étape vise à déterminer des clefs d'agrégation et de désagrégation permettant de passer de la notion d'activité individuelle (élevages d'huîtres creuses en surélévation par exemple) à celle de groupe (élevage ostréicole). La détermination de ces deux échelons complémentaires est envisagée dans l'optique d'introduire différents niveaux d'abstraction dans le modèle en fonction des sources de données disponibles.

Pour le niveau de modélisation le plus fin, les agents sont définis à partir de chacun des archétypes. Ceux-ci sont implémentés comme des processus autonomes poursuivant un objectif de fonctionnement économique optimal. Ce choix peut paraître restrictif, mais il répond au besoin de conduire une démarche quasi-déterministe, permettant de disposer d'un modèle générique et transposable à différents territoires. La description fine du déroulement de chacune des activités est également une phase essentielle à l'identification des différentes phases de production.

²⁴Modèle invariant contenant un ensemble de descripteurs permettant de qualifier une ou plusieurs activités(s) ayant des procédés de production identiques.

Dans le cas de l'élevage d'huîtres creuses par exemple (figure 67), la production se décompose en quatre cycles distincts au cours desquels les juvéniles mises en concession au début du mois de mai (+/- 15 jours en fonction des conditions météorologiques) vont passer par différents stades de croissance, jusqu'à atteindre une taille suffisante pour leur commercialisation. Chacune de ces étapes se traduit par un changement d'environnement pour les individus présents dans la chaîne de production ostréicole (déplacement d'une concession à une autre, modification de la densité au sein d'une même concession...). Cette synthèse archétypique permet de reconstituer le fonctionnement de chacune des orientations d'élevage associée aux pratiques aquacoles. Elle permet également de spécifier la période d'équilibrage nécessaire à une activité pour atteindre son plein rendement (entrées = sorties). Dans le cas du cycle ostréicole de l'huître creuse, elle correspond à 139 semaines, soit environ 1000 jours. Cette donnée est essentielle à la phase de simulation car elle conditionne la vraisemblance des résultats dans la mesure où, en situation réelle, plusieurs lots grandissent simultanément sur l'ensemble des concessions existantes. De plus, l'ostréiculteur procède souvent à des transferts d'individus dans différentes concessions, en fonction de leur stade de croissance. Il est donc indispensable de modéliser l'ensemble des effectifs présents dans la zone aquacole à la date de lancement d'une simulation.

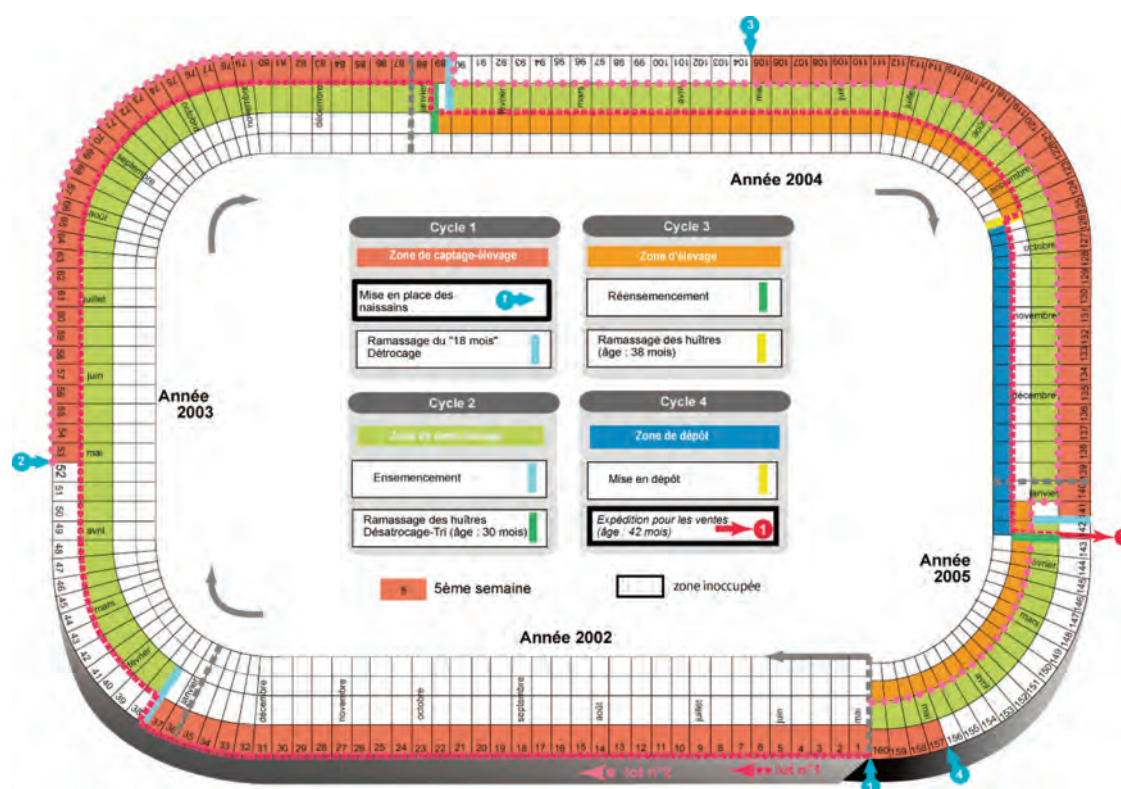


Figure 67 : Déroulement du cycle d'élevage de l'huître creuse *Crassostrea gigas* (Tissot & al., 2011).

V.1.1.b Formalisation des agents

Les agents implémentés au sein du modèle se scindent en trois groupes (figure 68):

- les Agents Quartiers Maritimes dont le rôle est d'encadrer la production de coquillages dans une zone aquacole donnée. Ils ont également une fonction réglementaire dans la mesure où ils peuvent interdire la production de coquillages suite à une pollution des eaux côtières d'origine tellurique ou marine ;

- les Agents Aquaculteurs interviennent dans la gestion de la production. Ils sont au cœur de l'activité aquacole car ils définissent les choix techniques de la production en fonction des contraintes du site d'implantation de leurs concessions marines. Ils possèdent des capacités de réaction à l'évolution de leur environnement (qualité de l'eau, contraintes météorologiques et réglementaires...) et peuvent donc adapter leurs méthodes d'élevage en fonction de ces contraintes ;

- les Agents Concessions constituent les entités de production proprement dites. Ils possèdent un ensemble de caractéristiques qui déterminent leur capacité de production potentielle. En fonction de contraintes environnementales (température de l'eau, turbidité, nature sédimentaire des fonds) et anthropiques (réglementation, pratique d'élevage) ce potentiel de production évolue et détermine le rendement de la concession.

Chaque activité est représentée par un agent autonome capable de réagir à un environnement vraisemblable préalablement modélisé. Ces agents restent à des niveaux de spécification génériques et ne possèdent aucune spécificité liée à l'implantation spatiale des activités modélisées. En revanche, ils intègrent des capacités de réaction et d'adaptation à l'évolution de leur environnement, celui-ci résultant d'une combinaison de contraintes naturelles et anthropiques associées à un territoire.

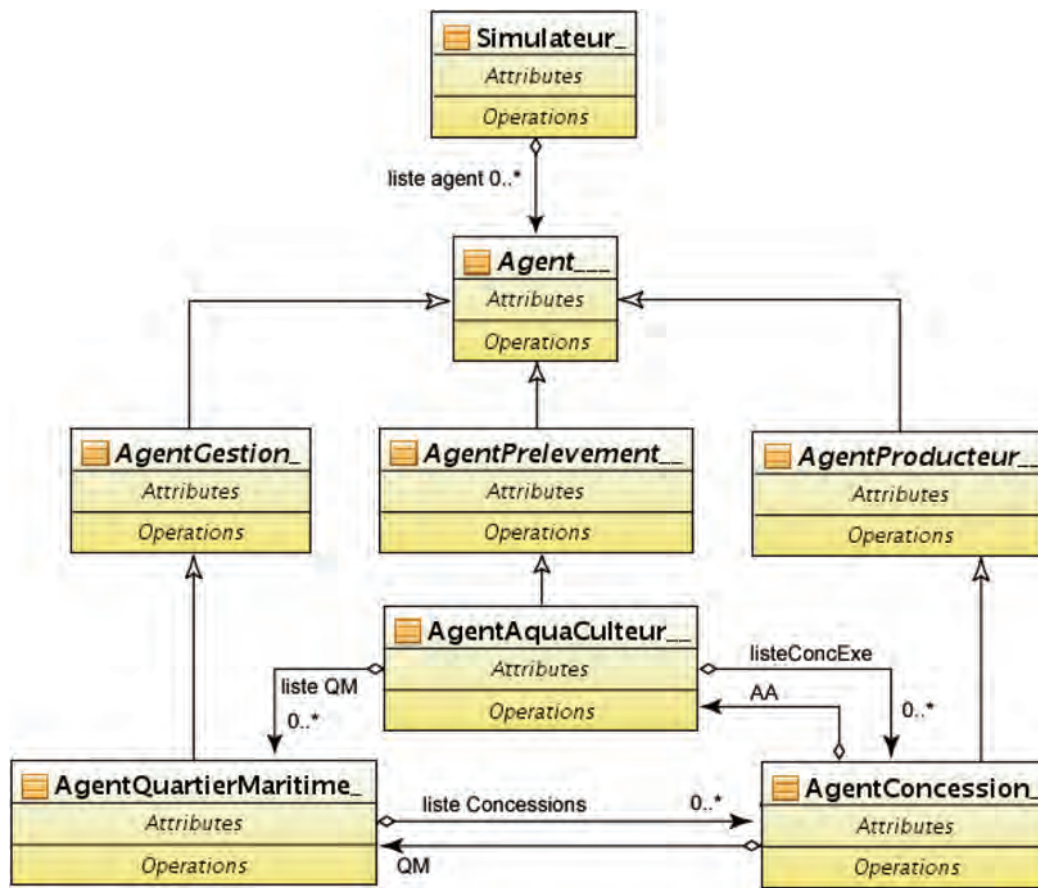


Figure 68 : Intégration des agents du Module Aquaculture au sein de la plateforme DAHU (Tissot & al., 2011).

Sur le plan informatique, chacun des agents est identifié à un thread²⁵ intégrant des données techniques propres au fonctionnement de l'activité simulée et des contraintes spatio-temporelles inhérentes au domaine de simulation. Chaque agent possède des capacités de réaction générique en fonction de la classe à laquelle il est intégré (Agent Gestion, Agent Prélèvement ou Agent Production). La stimulation de ces capacités réactives s'effectue via l'intégration de contraintes propres à chaque type d'agent. Les réponses données à ces stimuli dépendent donc du profil des agents. Un agent ostréiculteur par exemple adaptera sa stratégie de production (densité, répartition spatiale des huîtres) et l'organisation de son activité (abandon, mise en restructuration ou réaffectation de concessions marines), en fonction des contraintes de marée, de courantologie et de qualité de l'eau mais également en fonction de son profil de production (une entreprise familiale et un établissement industriel n'auront donc pas le même type de réaction face une contrainte identique).

²⁵Un thread est un processus léger et autonome possédant des fonctions prédéfinies comme la synchronisation avec d'autres threads ou encore la possibilité d'utiliser des sections critiques permettant d'éviter les conflits de partage de sources de données communes.

Compte tenu de l'hétérogénéité des données intégrées au sein la chaîne de calculs, l'étalonnage temporel du modèle est piloté par la classe simulateur qui a pour rôle de synchroniser les différents threads manipulés par la plateforme. Les agents possèdent des pas de temps horaire (agents Concessions) ou journalier (agents Quartiers Maritimes et agents Aquaculteurs). L'ordonnancement des agents nécessite également de tenir compte de l'inertie temporelle des activités qui mettent un temps variable à atteindre un état cyclique²⁶. Une période d'équilibrage est donc calculée pour chacun des agents en fonction du profil d'élevage utilisé et de l'espèce concernée. Lors du lancement d'une simulation certains threads sont lancés à une date antérieure à la date courante (déterminée en fonction de la durée d'équilibrage de l'activité), afin d'éviter un lancement simultané de l'ensemble des activités au premier jour de la simulation. Dans le cas de l'huître creuse diploïde *Crassostrea gigas* sur table (figure 67) la durée d'équilibrage est de 142 semaines.

V.1.1.c Structuration de la plateforme

Afin de replacer les agents dans un contexte spatio-temporel connu, plusieurs compartiments ont été réalisés au sein de la plateforme. Ils visent à organiser les différentes méthodes et procédures appelées par le modèle pour restituer le fonctionnement des activités aquacoles. La figure 69 illustre ce schéma relationnel en proposant une structure en quatre cellules, chacune ayant un rôle bien spécifique dans le déroulement des simulations :

- la première cellule regroupe l'ensemble des descripteurs permettant de qualifier les agents dérivés des archétypes de production. Elle permet de relier un type de production à une espèce cible ;

- la seconde cellule est chargée de faire le lien entre ces informations et leurs entités spatiales de référence (concession, quartier maritime). Elle contient également toutes les clefs de codage permettant de relier les différents compartiments du module aquaculture ;

- la troisième cellule intègre les contraintes spatio-temporelles fixant les conditions légales de production en aquaculture marine ;

²⁶Récurrence du cycle de production par un équilibrage des entrées/sorties.

- la quatrième cellule rassemble les sources d'information géographique permettant de restituer l'impact de perturbations accidentelles ou chroniques sur le fonctionnement des activités (épisodes de pollution aboutissant à une modification du déroulement de la production par exemple).

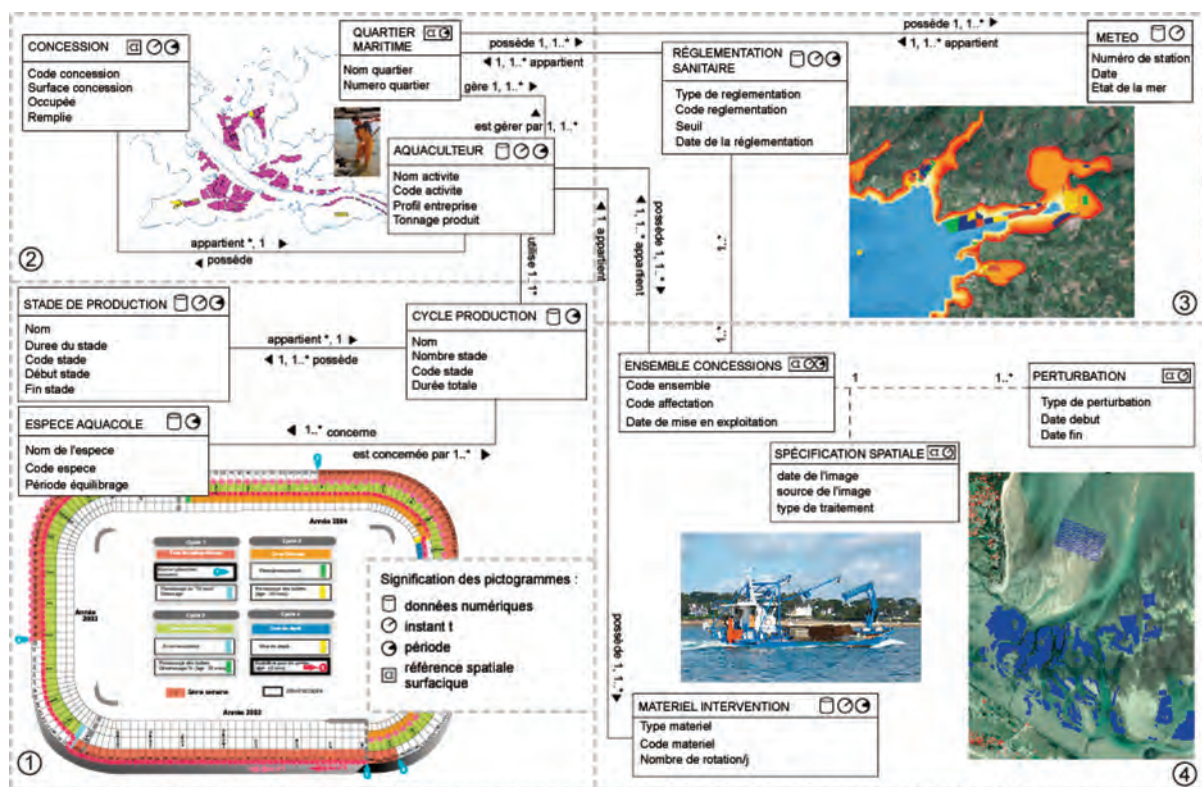


Figure 69 : Schéma organisationnel du module aquaculture au sein de la plateforme DAHU (Tissot & al., 2011).

La structuration du modèle, et notamment ses propriétés génériques, impose un important travail de préparation de données de forçages intégrées à la chaîne de calculs. Cette remarque est d'autant plus valide que les activités de cultures marines sont directement tributaires des contraintes météorologiques et de la qualité des eaux côtières qui restent des variables extrêmement fluctuantes sur le plan spatial et temporel. Il est donc nécessaire d'associer au modèle un ensemble d'outils capables de construire une relation spatio-temporelle cohérente entre les activités modélisées et les spécificités du territoire dans lequel elles évoluent.

L'intégration du module Aquaculture au sein du simulateur DAHU permet de bénéficier de l'ensemble de l'architecture logicielle de la plateforme et notamment du protocole de couplage modèle/SIG qui vise à construire une relation spatio-temporelle cohérente entre des agents et des objets spatiaux.

Ce couplage intervient à deux niveaux :

- un niveau de pré-processing où l'objectif est de reconstituer le territoire et les conditions de déroulement des activités modélisées à partir d'une série de filtres techniques, socio-économiques, réglementaires et environnementaux ;
- un niveau de post-processing dédié à la représentation spatiale des résultats de simulation et à la production de couches thématiques, croisant données de forçage et résultats de simulation.

Le partage d'une base de donnée relationnelle (au format PostgreSQL/PostGIS), commune au modèle et au SIG, répond au besoin de formaliser un protocole de communication transparent et rétroactif permettant, notamment, d'introduire des sorties du modèle (y compris spatiales) comme variables de forçage d'une nouvelle simulation.

L'utilisation d'un SIG permet de disposer d'informations fines concernant l'emprise spatiale des activités (concessions marines), la réglementation associée à l'exploitation économique de la zone intertidale (droits à concession, contraintes de salubrité...), le contexte socio-économique de la période de simulation (nombre de conchyliculteurs, volume de production...) et les caractéristiques météorologiques à une date donnée (état de la mer, température). Il contribue également à construire des couches de validation utilisées comme plan d'échantillonnage pour réaliser des contrôles post-simulation sur le terrain.

V.1.2 Déclinaison d'un prototype en Baie de Bourgneuf

La structure générique du module aquaculture a servi de base au développement d'un prototype dédié à la simulation du déroulement des activités ostréicoles et de leurs interactions avec un environnement côtier sous contraintes spécifiques. Développé en Baie de Bourgneuf dans le cadre du programme GERRICO, ce modèle a pour objectif d'étudier les implications de la variabilité de la qualité des eaux sur le fonctionnement des activités ostréicoles (changement de l'emprise spatiale des sites de production, abandon de concessions marines jugées à risque ou non rentable par l'exploitant, vente anticipée de la production, déplacement de la production sur d'autres sites...).

V.1.2.a Structuration des agents de production

Une typologie des ostréiculteurs a été réalisée à partir d'une enquête menée auprès de 15 % des entreprises de la baie. Il s'agissait de mieux comprendre leur organisation et la logique des exploitants ainsi que les contraintes auxquelles ils se heurtent dans la mise en œuvre de leurs choix productifs (Le Grel & Le Bihan, 2009). Contrairement à beaucoup de classifications fondées sur des critères techniques et de taille, la typologie proposée est basée sur des critères fonctionnels (stratégie commerciale, part de la main d'œuvre familiale, localisation des concessions) ainsi que sur l'âge du chef d'entreprise et son degré de perception des risques.

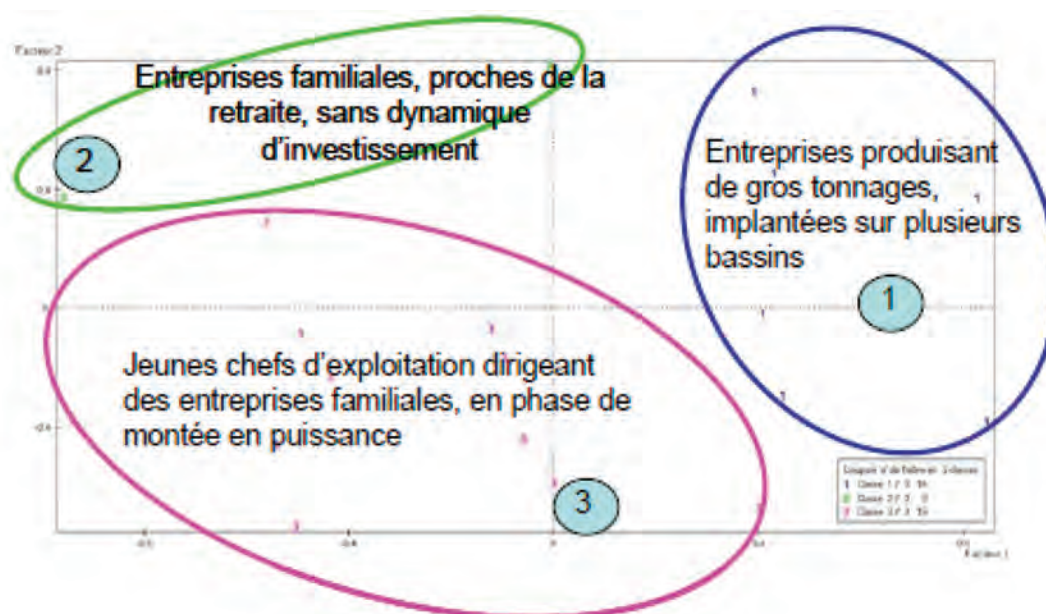


Figure 70 : Typologie des entreprises ostréicoles de la baie de Bourgneuf (Le Grel & Le Bihan, 2009).

Il en ressort une typologie en trois groupes (figure 70) : l'un qui sature sa main d'œuvre (groupe 2), un autre sa surface de parcs (groupe 3) et un troisième qui s'affranchit de ces contraintes par une stratégie d'implantation multi-sites (groupe 1). Ceci renvoie à trois logiques très distinctes d'occupation de l'espace et d'ensemencement en naissain dans le bassin de Bourgneuf.

Comme le montre la figure 71, le choix méthodologique retenu permet de dépasser « l'effet taille » et de différencier deux classes (les classes 2 et 3) à l'intérieur d'un ensemble composé d'entreprises dont le niveau de production est voisin (autour de 30 t) et exploitant un total de surfaces très proche (environ 3 ha). En effet, le ratio d'utilisation des surfaces concédées atteint 96 % pour le groupe 3 alors qu'il n'est que de 88 % pour le groupe 1 et descend même jusqu'à 61% pour le groupe 2.

La disponibilité des parcs est donc le facteur limitant de la production des entreprises du groupe 3, alors que celles du groupe 2 ont une réserve substantielle. Quant à celles du groupe 1, elles disposent de parcs d'élevage à l'extérieur du bassin ; leur dépendance à l'égard de la baie, tant en termes de qualité de la croissance des coquillages que de la disponibilité de surfaces pour l'élevage est moins marquée que pour les deux autres groupes. La classification rend ainsi compte de trois stratégies différentes d'utilisation du foncier conchylicole et de gestion des risques d'une baisse de performances du milieu.

	Groupe 1		Groupe 2		Groupe 3	
	Moyenne	(Écart-type)	Moyenne	(Écart-type)	Moyenne	(Écart-type)
Âge	39,92 ans	(8,33)	49,5ans	(6,20)	40,53 ans	(9,32)
Tonnage produit	60,87 t	(25,99)	30,00 t	(21,55)	28,94 t	(13,19)
Surface exploitée	5,62 ha	(2,75)	2,88 ha	(1,19)	3,08 ha	(1,12)
Taux d'utilisation des surfaces concédées	88,36 %	n.d.	60,60 %	n.d.	95,83 %	n.d.
Part de la baie de Bourgneuf dans les surfaces exploitées	65,40 %	(22,59)	80,19 %	(23,55)	88,94 %	(15,18)

Figure 71 : Description des trois groupes d'entreprises ostréicoles (Tissot & al., 2011).

Les 289 entreprises ostréicoles recensées à partir des données de la Section Régionale Conchylicole se répartissent comme suit : le groupe 1 en rassemble 107, le groupe 2, 61 et le groupe 3, 121.

L'ensemble de ces informations a permis de construire des profils d'agents dans le modèle, d'y associer des stratégies de production (taux de remplissage des parcs, répartition des ventes au cours de l'année...) et d'établir un niveau de réactivité à l'évolution des contraintes environnementales.

V.1.2.b Formalisation des contraintes d'environnement

L'intégration de variables de forçage au sein de la plateforme DAHU donne lieu à la constitution d'une geodatabase orientée objets permettant d'organiser les différentes contraintes spatiales en fonction de leurs caractéristiques thématiques et topologiques. Cette geodatabase au format ArcGIS est répliquée sur un serveur Postgre/PostGIS couplé à la plateforme DAHU (figure 72).

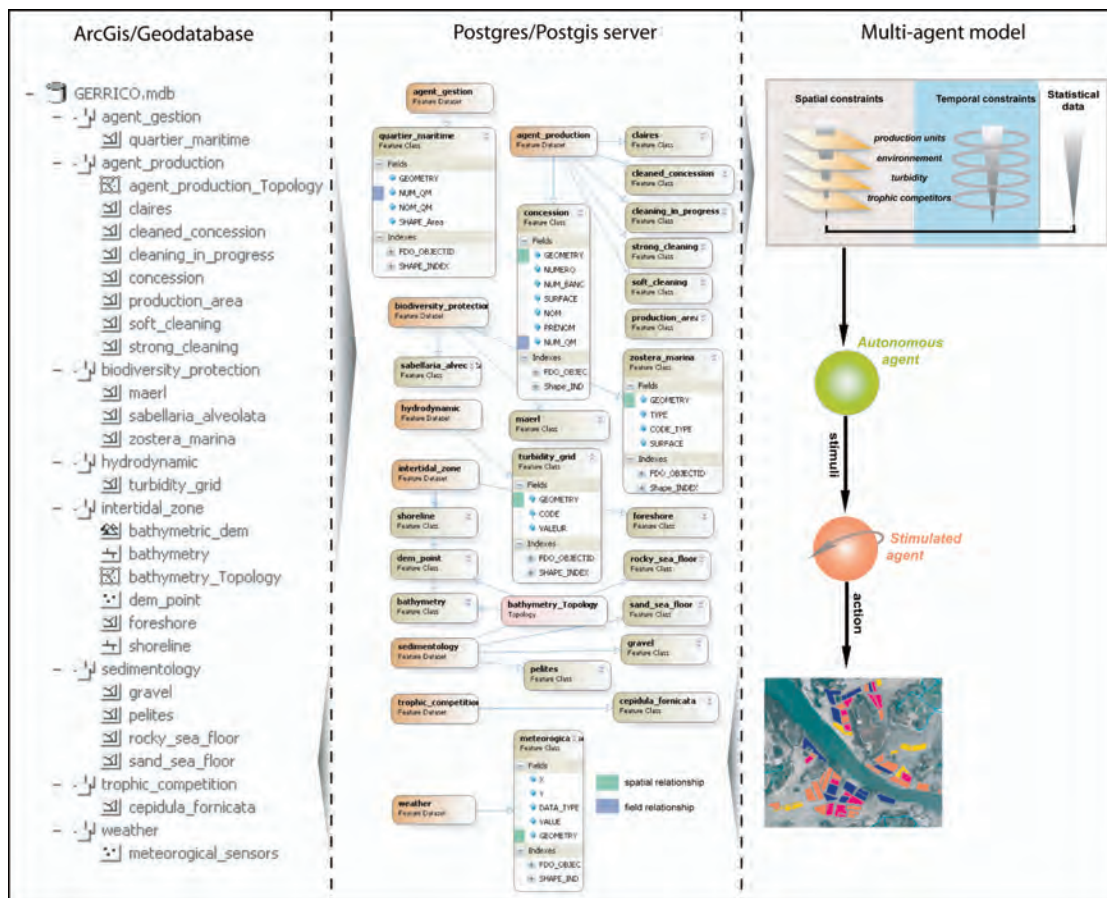


Figure 72 : Schéma des contraintes spatio-temporelles intégrées au modèle (Tissot & al., 2011).

La structuration proposée permet de calculer les conditions de pratique pour chaque type d'agent à partir d'une combinaison de contraintes influençant le déroulement de l'activité ostréicole.

Pour la classe AgentQuartierMaritime, l'objectif est de connaître l'état du bassin de production (suivi de son évolution) et la qualité des eaux (fermeture administrative en cas de risque sanitaire). Pour la classe AgentAquaculteur, il s'agit de déterminer les potentialités d'utilisation de leurs parcs ostréicoles au regard du statut des concessions (actives ou en nettoyage) afin d'élaborer une stratégie de production.

Pour la classe AgentConcession, le contrôle d'un ensemble de contraintes d'environnement (niveau d'envasement, nature sédimentaire du fond, présence de compétiteurs trophiques...) permet de mesurer l'aptitude de la concession à accueillir des huîtres à un stade de croissance donné.

Afin de tenir compte de la variabilité spatiale de la turbidité un protocole permettant le chaînage du module aquaculture avec un modèle hydrosédimentaire implémenté sous MIKE21²⁷ (Dussauze & al., 2009) a été développé. Dans cette perspective une grille d'une résolution de 300 mètres, commune au modèle multi-agents et au modèle hydrosédimentaire, a été intégrée au serveur Postgre/PostGis. Les valeurs de concentrations en MES calculée par MIKE21 peuvent ainsi être associées aux concessions marines contenues dans chaque maille.

L'intégration des données spatio-temporelles au sein du modèle s'effectue au moyen de requêtes SQL qui fournissent des variables d'initialisation et des données de forçages aux différents agents.

V.1.2.c Résultats de la simulation de la croissance des huîtres sous contraintes d'environnement

Pour parvenir à restituer la variabilité de la croissance des huîtres *Crassostrea gigas* en élevage dans la baie de Bourgneuf, l'intégration d'un modèle biologique sous contraintes d'environnement a été entrepris. Dérivé d'un modèle biologique de type

²⁷Via la prise en compte de trois agents hydrodynamiques (les courants de marées, la houle se propageant des grandes profondeurs vers la côte et le clapot généré localement par le vent) ce modèle permet de représenter le gradient Nord/Sud de turbidité et les rapides changements de turbidité qui sont mesurés au niveau de la zone intertidale au cours d'un cycle de marée.

Scope For Growth (Barillé & al., 1997), ce modèle simplifié est construit sur la base de régressions multiples formulées à différents stades de croissance de l'huître et intégrant 3 paramètres : la température, l'activité chlorophyllienne, mesurées à hautes fréquences par des sondes multi-paramètres et la concentration en MES, simulée par un modèle hydrosédimentaire. Le modèle calcule le poids moyen des individus d'une concession à chaque pas de temps et restitue une courbe de croissance ajustée en fonction de ces données d'environnement. Une première simulation, réalisée sur la période 2004-2007 montre une assez bonne corrélation entre les résultats produits par le modèle multi-agents et les sorties du modèle biologique (figure 73).

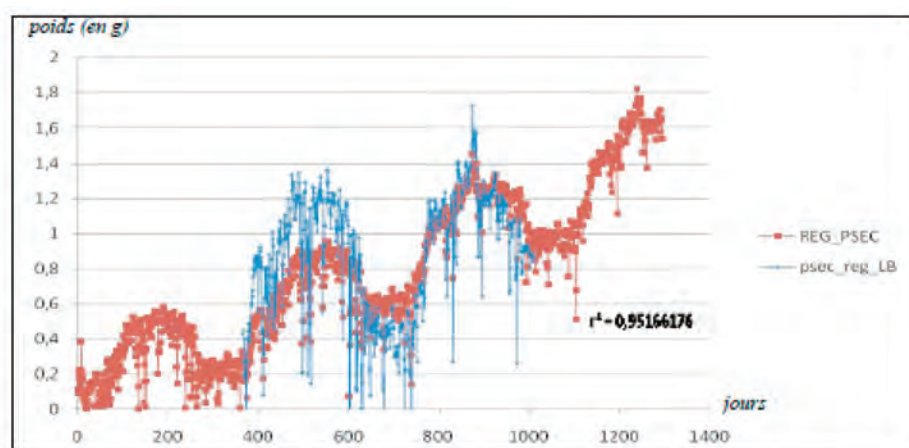


Figure 73 : Variabilité du poids sec de *Crassostrea gigas* sous contraintes d'environnement (T° , Chla, MES) sur la période 2004/2007 (en rouge : simulées par le modèle multi-agents, en bleu : simulées par le modèle biologique ; $R^2 = 0.9516$) (Tissot & al., 2011).

Les informations obtenues sont essentielles car elles permettent de déterminer le niveau de maturité des huîtres à un stade de croissance donné et d'évaluer le rendement des parcs ostréicoles. En fonction des résultats obtenus, les agents aquaculteurs adaptent leurs stratégies de production.

La simulation des activités conchyliques est restituée à partir de scénarii de type « stimuli-réponse », dérivés de situations connues ou virtuelles. L'objectif est de réaliser des bilans de production à différentes échelles spatiales et temporelles. La concession ostréicole, unité spatiale de référence du modèle, constitue le premier niveau des données produites par le modèle. Celle-ci concerne l'ensemble des paramètres de l'élevage aquacole et donne des informations sur le mode d'élevage utilisé, le nombre d'individus par stade et leur poids moyen à un pas de temps journalier. Ces sorties peuvent être agrégées à différents niveaux scalaires (figure 74) en fonction des besoins d'application envisagés (entreprise ostréicole, banc de production, quartier maritime).

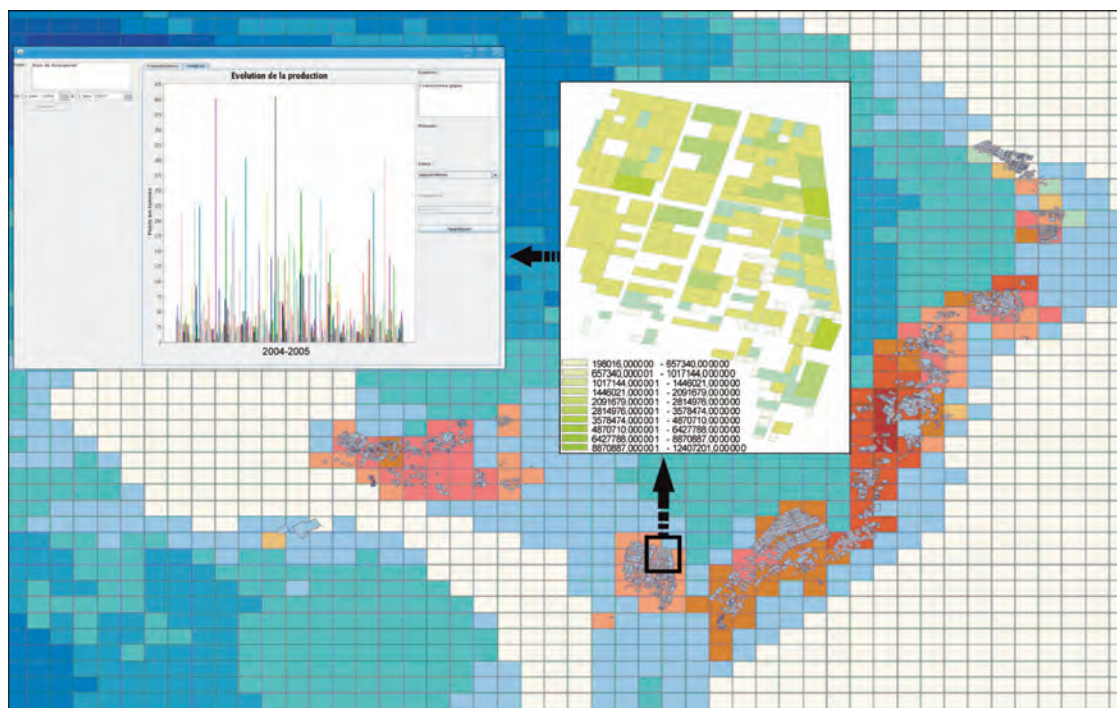


Figure 74 : Exemple de bilan de production à l'échelle des concessions et des entreprises ostréicoles (Tissot & al., 2011).

Les résultats de simulation de croissance indiquent une forte variabilité spatiale de la croissance des huîtres selon la localisation des principaux bancs ostréicoles. Les plus mauvaises croissances sont simulées au nord de la baie par opposition à des zones plus favorables à proximité de l'île de Noirmoutier. Des variations intra-bancs sont également observées, avec de moins bonnes croissances des parcs situés en haut d'estran, pour lesquels le temps d'immersion est réduit et les turbidités les plus élevées. La production ostréicole de la baie de Bourgneuf est donc fortement dépendante de la concentration en MES.

Les valeurs de concentration sont parfois comparables à celles que l'on rencontre dans les zones de turbidité maximale des estuaires (Irigoien & Cassel, 1997), avec des concentrations supérieures au gramme par litre. Les variations liées au cycle tidal de marée sont supérieures aux variations saisonnières. La turbidité a donc pour conséquence une limitation des croissances sur estran, ce qu'a perçu l'organisme en charge du soutien à l'aquaculture en Pays de la Loire (SMIDAP), qui teste depuis 2 ans des systèmes de cultures offshores en cages au centre de la baie, dont les premiers résultats indiquent des croissances 3 à 4 fois supérieures (Glize & Guisse, 2009).

A partir de ces premiers résultats, l'objectif est de tester les capacités de réaction et d'adaptation des agents face à différents scénarii. La contrainte de turbidité a été intégrée comme un facteur de régulation de la stratégie de production. Cette variable nécessite d'être analysée de manière croisée avec le cycle des marées, compte tenu des interactions fortes entre ces deux éléments (remise en suspension des MES). La structuration de la plateforme DAHU, et notamment la phase de pré-processing précédant la simulation, permettent de prendre en compte ce type d'interaction.

Concernant l'analyse de la variabilité de la qualité des eaux, les premières simulations réalisées montrent une adaptation de la part des agents qui peuvent adopter différentes stratégies :

- Modification de la répartition spatiale des huîtres en élevage en fonction des potentialités de rendement des concessions pour un stade de production donné,
- Réaction à la baisse des rendements par une augmentation ou une diminution de la densité d'huîtres dans les parcs (en fonction des objectifs de production) ou par une mise en rotation des concessions, qui sont maintenues en nettoyage²⁸ durant une période plus ou moins longue,
- Ensemencement supplémentaire de juvéniles pour compenser tout ou partie de la perte engendrée par des mortalités accidentelles ou chroniques.

Ces changements de stratégies de production s'avèrent préjudiciables sur le plan économique car ils génèrent un surcoût, pèsent sur la rentabilité des entreprises ostréicoles à court et moyen termes et tendent à accroître les stocks en élevage dans le bassin, affectant ainsi les performances de croissance du milieu. Au regard de l'hétérogénéité des rendements de production et de la variabilité spatio-temporelle de la turbidité, la recherche de seuils d'optimisation de la production ostréicole au niveau de la Baie de Bourgneuf semble donc pertinente.

A partir de ces premiers résultats l'objectif est de tester les capacités de réaction et d'adaptation des entreprises conchyliques face à différents scénarii. Ainsi, dans la perspective de contribuer à une analyse aidant à la gestion de l'activité conchylique, le développement d'approches scénarisées et prospectives est nécessaire. L'objectif

²⁸Les concessions marines sont vidées de leur contenu et laissées aux cycles de nettoyage naturel des marées.

est double : d'une part, tester la résistance des structures de production actuelles face à une dégradation des conditions de production (récurrence des périodes de fortes concentration en MES, mortalités exceptionnelles, compétition trophique accrue) et, d'autre part évaluer la pertinence d'une mutation partielle des systèmes de production actuel vers des structures offshore au regard des potentialités offertes par la Baie de Bourgneuf. Ce dernier élément représente un intérêt tout particulier en terme de gestion intégrée de la zone côtière car il nécessite de mener une réflexion sur la redistribution spatiale d'une partie du parcellaire conchylicole vers des secteurs de la baie non encore concédés, mais utilisés par d'autres activités. Dans ce contexte le développement d'une approche territoriale systémique, permettant d'aboutir à une minimisation du risque de conflits d'usages avec d'autres activités (pêche à pied, petite pêche, loisirs récréatifs, conservation de la biodiversité...) s'avère pertinente.

V.2 Analyse prospective sur la relocalisation de l'activité ostréicole en eau profonde

La démarche présentée a pour objectif de fournir une méthode permettant de calculer et de représenter les interactions spatio-temporelles entre usages. Elle s'inscrit dans la perspective d'élaborer des scénarii de relocalisation de concessions ostréicoles, initialement situées sur l'estran, en eau profonde. Dans ce contexte, ce travail contribue à l'identification de zones d'implantation potentielle prenant en compte un objectif de minimisation des conflits avec les autres usages.

V.2.1 Contexte professionnel et technique

V.2.1.a L'ostréiculture offshore, techniques et tests en baie de Bourgneuf

Ces techniques en eau profondes sont assez peu utilisées en ostréiculture sur les côtes atlantiques françaises, contrairement aux bassins de production méditerranéens. Elles sont cependant en plein essor, notamment dans le bassin de Quiberon mais également dans les pertuis (Breton et d'Antioche) (Mille & Blachier, 2009). La plupart des techniques consistent soit (i) en la suspension de cages sur filières flottantes soit (ii) au dépôt de cages sur des petits fonds. A l'intérieur de ces

cages, les huîtres sont réparties dans des paniers ou dans des poches.

En baie de Bourgneuf, l'ensemble de la production (10 000 tonnes/an) se fait sur tables disposées sur l'estran. La faible productivité de cet espace, hors phase de demi-élevage (Lerouxel & al., 2008), nourrit les stratégies de migrations inter-bassins des producteurs implantés en baie de Bourgneuf.

Dans ce contexte, la possibilité de réaliser une partie de la production en eau profonde répondrait à trois objectifs essentiels pour les producteurs : (i) pallier la faible productivité des estrans, (ii) relocaliser la production faite dans d'autres bassins et (iii) diminuer les coûts de production.

C'est en ce sens que des tests zootechniques ont été menés par le Syndicat Mixte pour le Développement de l'Aquaculture et de la pêche en Pays de Loire (SMIDAP²⁹). Afin d'évaluer les gains productifs et la faisabilité de l'élevage offshore dans le bassin Vendée-Atlantique, différentes techniques ont été testées lors de l'année 2008. Les résultats de ces expérimentations (Glize & Guisse, 2009) laissent entrevoir des potentialités très intéressantes. En effet, les croissances apparaissent plus élevées en demi-élevage (de +70% sur les paniers de diploïdes jusqu'à +176% sur les poches de triploïdes) et en élevage (+ 70% en moyenne).

Ces résultats ont motivé une étude pour la recherche de sites d'implantations potentielles dans la baie de Bourgneuf (Moison, 2009). Celle-ci a été menée par la Section Régionale de la Conchyliculture (SRC) en partenariat avec le SMIDAP et l'Institut de Géographie et d'Aménagement Régional de l'Université de Nantes (IGARUN). Il est à noter que cette étude a été réalisée dans un cadre de réflexion prospective et n'augure en aucun cas des mises en œuvre futures. Il appartient aux professionnels de décider des suites à donner.

V.2.1.b Des contraintes environnementales et humaines fortes

La localisation des concessions en mer est contrainte à la fois par des variables de nature et par les usages présents en mer.

²⁹Le SMIDAP est un organisme consultatif sur les aspects techniques pour les conchyliculteurs. Il est essentiellement financé par le Conseil Régional des Pays de la Loire. Site internet : <http://smidap.pagesperso-orange.fr/>

La partie concernant les contraintes physiques ne sera pas détaillée ici et a été réalisée par la SRC et le SMIDAP. On peut simplement présenter les variables pour l'appréciation du potentiel d'implantation. Elles s'organisent autour de deux axes : les critères physiques (bathymétrie, courantologie, température et sédimentologie) et les critères biologiques (capacité trophique, classement sanitaire des eaux, présence de prédateurs pélagiques et présence de nourriceries de soles) (Moison, 2009). Pour chaque variable, les données géographiques correspondantes ont été acquises. Le résultat, présenté dans la figure 75, est issu de l'intersection de ces différentes variables. Les rares usages exclusifs (extraction de granulats et chenal de navigation de la Loire) ont également été pris en compte.

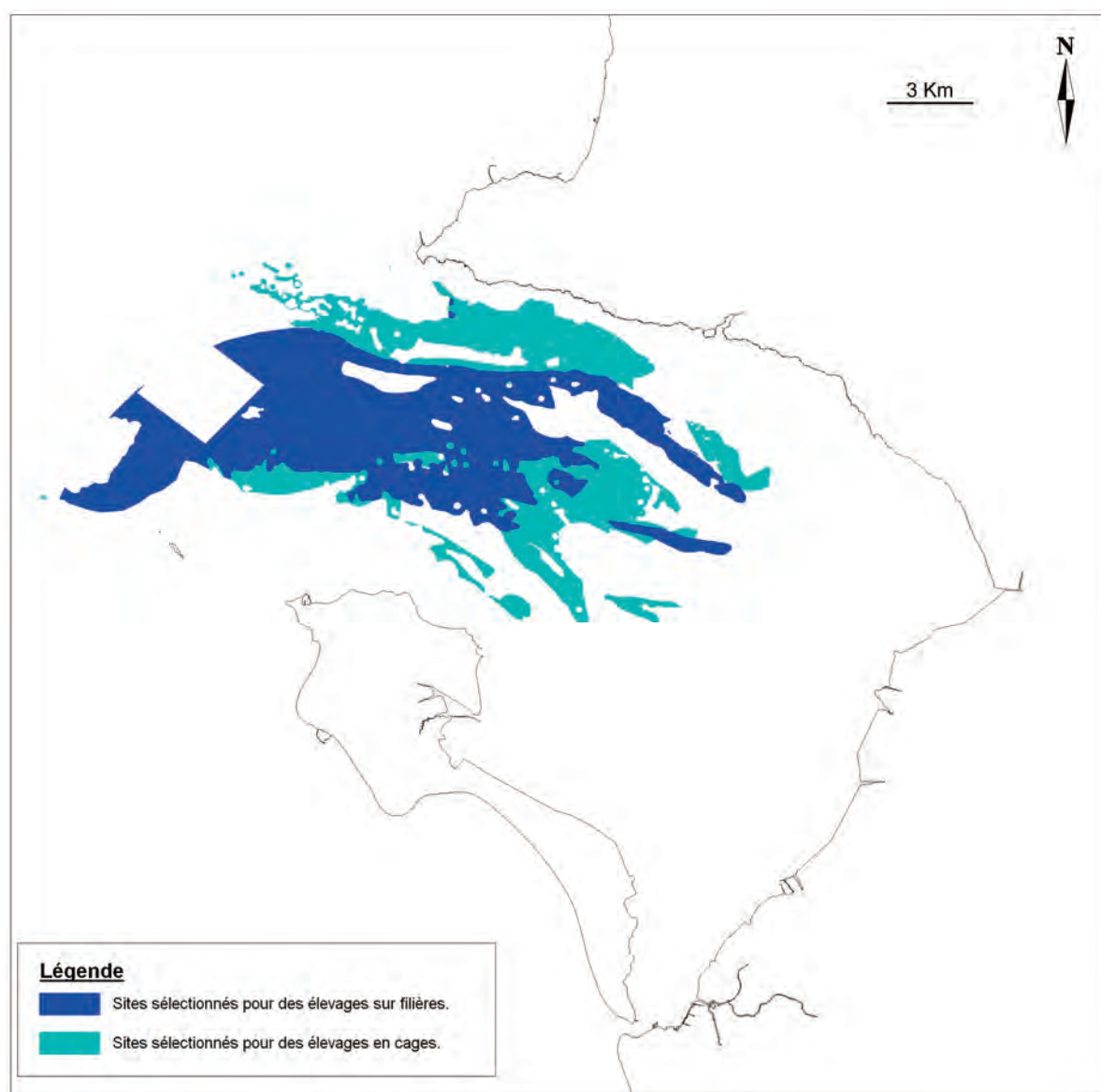


Figure 75 : Cartographie des sites d'implantation potentielle en baie de Bourgneuf selon critères exclusifs (physiques, biologiques et humains) (Moison, 2009).

V.2.2 Méthodologie d'extraction des zones de moindres conflits d'usages potentiels

La méthodologie d'extraction des zones d'intersections spatio-temporelles entre usages repose sur l'utilisation d'un algorithme de combinaison de l'information géographique. Celui-ci permet d'extraire les superpositions entre usages.

V.2.2.a Définition des contraintes

A ce niveau de contraintes environnementales, s'ajoutent les contraintes liées aux usages en mer, la question de l'intégration étant centrale.

Outre des usages exclusifs comme l'extraction de granulats, les chenaux de navigation marchande (Loire) et les aires de manœuvre pour la marine nationale, des activités non exclusives doivent être prises en compte. Il s'agit en baie de Bourgneuf, essentiellement, de la pêche professionnelle et de la plaisance. Ces deux activités sont potentiellement en concurrence avec l'ostréiculture offshore, pour l'utilisation de l'espace.

Concernant la plaisance, les ports de la baie abritent une flotte importante de petits navires destinés soit à la croisière soit à la pêche amateur. Si l'ensemble de la baie est fréquenté par cet usage, certaines zones sont utilisées de manière plus intensive. Ce sont les espaces proches du rivage, les abords des ports et les routes de navigation principales. Cependant les saisonnalités d'usage de ces différents espaces ne sont pas les mêmes. Les espaces situés à moins d'un mille du rivage sont, par exemple, plutôt dévolus au nautisme léger (dériveurs notamment), essentiellement pratiqué en saison estivale, alors que les chenaux de navigation et les routes intra baie (Pornic – Noirmoutier Herbaudière) sont utilisées toute l'année (figure 25, Chapitre II).

La pêche dans la baie est quant à elle une activité plus complexe à appréhender. L'analyse de la réglementation permet une synthèse cartographique des espaces potentiellement utilisés (figure 24, Chapitre II). Si la réglementation seule ne représente pas toute la complexité des contraintes régissant la spatialisation de la pêche, elle permet de cartographier l'ensemble des espaces de pratique possibles à une date donnée. D'autres contraintes pourraient être prises en compte (Le Tixerant & Gourmelon, 2006) (critères physiques : météo, nature des fonds etc. et critères

socio-économiques : prix du poisson notamment), mais elles sont pour la plupart à rattacher à des données conjoncturelles. Le choix de ne pas les intégrer répond à l'objectif de représenter l'ensemble des espaces de pratique possibles, quitte à surreprésenter l'activité de pêche.

Une fois l'inventaire des usages dans l'espace et dans le temps effectué, une synthèse des interactions spatiales a été mise en œuvre. Pour cela, une analyse des superpositions d'usages a été conçue avec une méthodologie considérant le temps comme l'unique pondérateur des interactions spatiales. Son but est de mettre en évidence les secteurs les plus polyfonctionnels et de produire des documents de référence pour la concertation, dans le cadre d'un éventuel développement de l'ostréiculture en eau profonde.

V.2.2.b Présentation de l'algorithme

La méthodologie proposée repose sur l'utilisation d'un algorithme développé par D. Brosset (LETG, laboratoire Géomer, Brest) permettant d'automatiser le calcul des superpositions entre usages, en prenant en compte les géométries (territoires de pratiques) et les occurrences de ceux-ci. L'intégration du temps dans l'analyse apporte une pondération pertinente pour traduire la complexité des conflits d'usages potentiels. Cet outil permet de restituer des zones avec, comme attribut, le nombre de jours d'intersections dans l'année.

La préparation des données en entrée est simple. Il s'agit de préparer deux fichiers : une couche SIG au format *shp stockant les territoires de pratiques des usages et un tableur au format *csv stockant leurs périodes de pratiques. Les deux fichiers sont reliés par un code unique comme décrit dans la figure 76 ci-dessous.

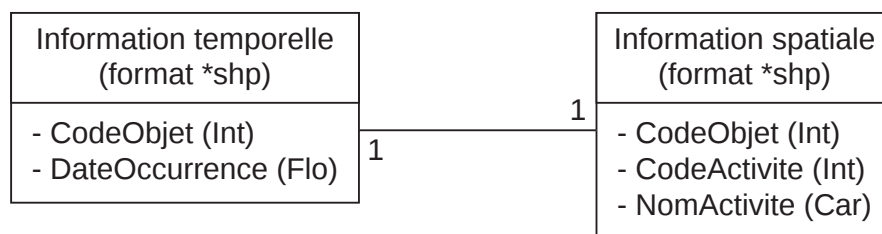


Figure 76 : Structuration des données en entrée de l'algorithme.

Afin d'obtenir des densités de superpositions d'usages en prenant en compte l'espace et le temps, un algorithme spécifique a été développé. Cet algorithme réalise toutes les intersections et découpages des polygones (territoires de pratiques) tout en additionnant les superpositions et en préservant l'identification des pratiques. Il permet de passer d'un ensemble de polygones se chevauchant à un ensemble de polygones disjoints, composés de toutes les intersections et différences des polygones. Le nombre de polygones résultant de la méthode est fonction du nombre de pratiques et de la durée de la plage temporelle à prendre en compte (le nombre de jours, les pratiques étant connues à la journée). Ce nombre dépend évidemment des géométries des polygones délimitant les pratiques.

Pour une zone contenant dix pratiques différentes par jour, le nombre de polygones à calculer sur une année est égal à . Au vu de ce nombre et bien que les pratiques changent peu de géométrie au cours du temps, ce qui réduit le nombre d'intersections et de découpages, l'utilisation d'une méthode automatique est parfaitement justifiée. L'algorithme a été implémenté en Java ® en utilisant la librairie JTS®(Java Topology Suite). Le code a été parallélisé pour gagner en temps de calcul qui se compte en jours sur un calculateur bi-processeurs sexacore soit 12 unités de calcul.

V.2.3 Résultats

V.2.3.a Les zones propices

Les résultats de l'algorithme sont initialement restitués sous forme de polygones stockant le nombre d'intersections. Le pas de temps journalier utilisé dans le calcul permet de calculer la somme des intersections journalières entre usages. Ce résultat peut être agrégé à différentes échelles temporelles (semaine, mois, saison, année...). Quelques éléments peuvent être précisés pour faciliter la lecture des résultats : sur une journée il peut y avoir plusieurs superpositions (le score sera de 3 si trois activités sont présentes) et la somme des différents scores d'un même polygone sur l'année permettra de quantifier un niveau de conflit d'usages potentiel.

La production de bilans annuels apparaît pertinente dans le cadre de cette étude car elle permet de réaliser des cartes d'interactions répondant à la problématique posée, concernant la potentielle installation de structures ostréicoles pérennes. Il serait également possible de conduire des analyses à des échelles temporelles plus fines (mensuelles) pour travailler sur des périodes-clés en matière d'usage de l'espace marin (saison de pêche, saison touristique...) et dégager des périodes particulières où l'intensité des interactions est exacerbée. Néanmoins, cette démarche nécessiterait de disposer d'une importante base de données sur les conditions de pratiques des usages concernés et ne pourrait donc être mise en œuvre que dans le cadre d'une étude spécifique.

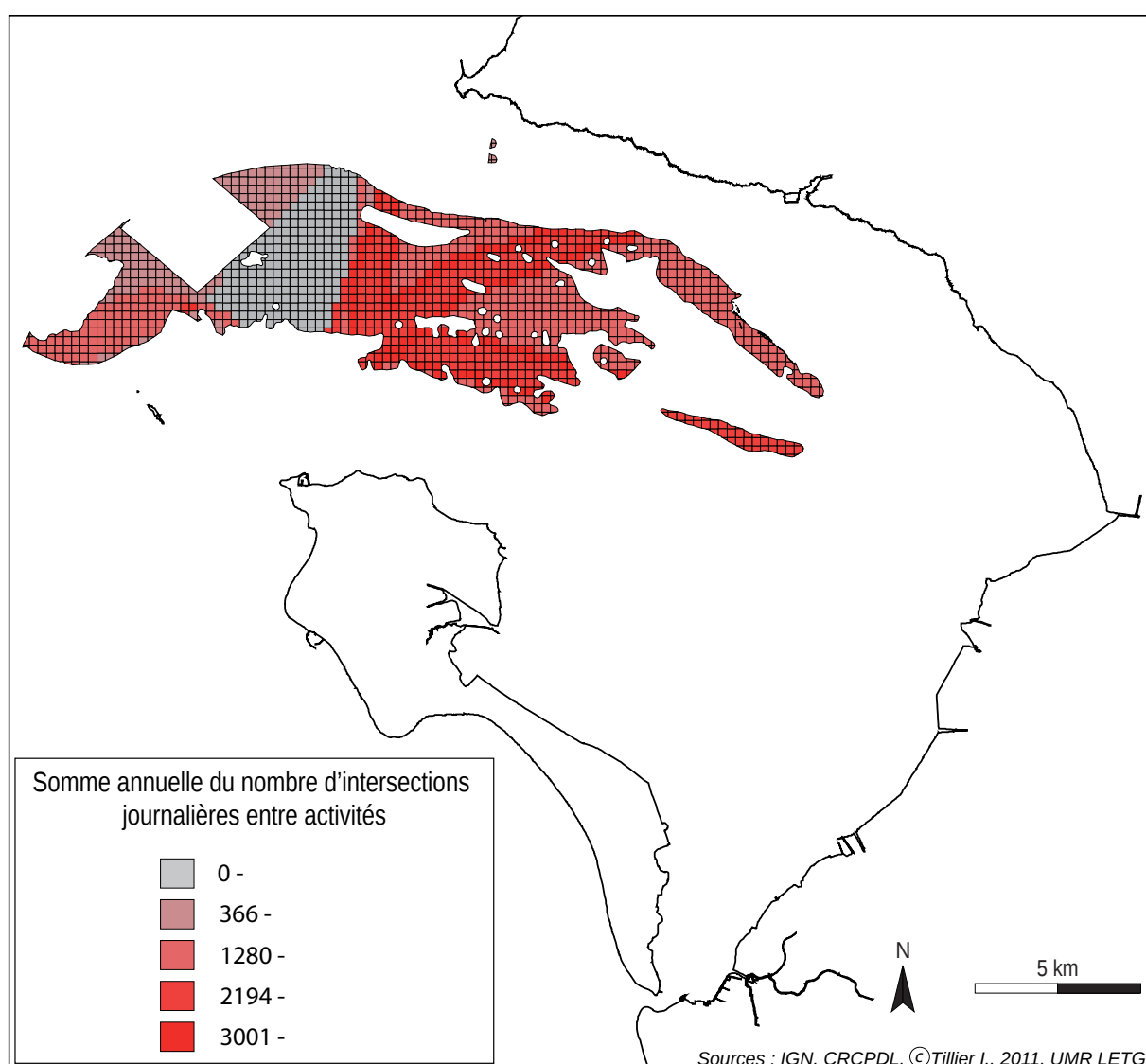


Figure 77 : Cartographie des degrés de conflits d'usages potentiels pour l'implantation de filières ostréicoles offshore en baie de Bourgneuf.

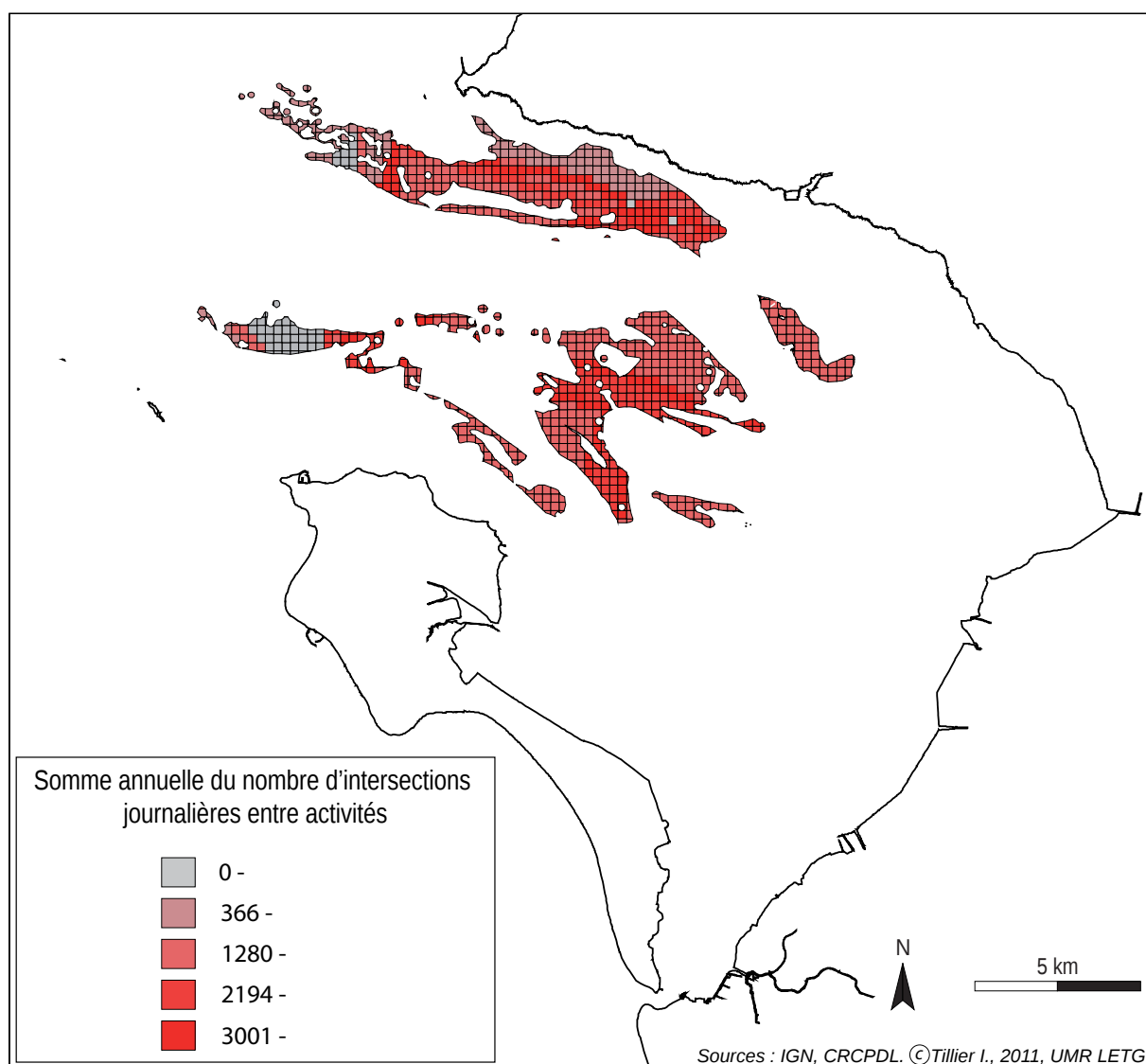


Figure 78 : Cartographie des degrés de conflits d'usages potentiels pour l'implantation de cages ostréicoles offshore en baie de Bourgneuf.

Les cartes des figures 77 et 78 restituent, agrégée dans une grille (le nombre des polygones rendant la lecture difficile à l'échelle de la baie), la potentialité de conflits d'usages sous l'angle des relations spatio-temporelles. Ces documents pourront servir de supports de concertation inter-acteurs si le CRC souhaite poursuivre cette démarche de développement de l'activité en mer. Même s'ils restent partiels, ces résultats permettent de mettre en évidence des secteurs moins utilisés et donc certainement plus propices à des implantations.

V.2.3.b Un outil pour l'analyse spatiotemporelle des conflits d'usages

L'utilisation d'algorithmes de calcul des interactions spatio-temporelles comme celui développé par D. Brosset permet l'intégration du temps dans l'analyse spatiale des conflits d'usages. Le temps est considéré comme un pondérateur de ces interactions.

Ce type d'outil permet d'évaluer les interactions spatiales et les impacts probables de différents scénarii de développement des activités. Ces scénarisations peuvent concerner des implantations d'activités (production conchylicole offshore, énergies marines renouvelables, etc.) ou des changements de calendriers de pratiques d'usages existants (nouvelle réglementation des pêches notamment). On peut donc identifier et hiérarchiser des espaces, ou des périodes d'interactions, sur lesquelles les gestionnaires peuvent mettre en œuvre des processus de concertation visant à réduire ou à anticiper les conflits d'usages.

L'utilisation d'outils de combinaison de données spatio-temporelles ou de modèles de simulation permet l'insertion du temps dans les analyses des interactions spatiales générant des conflits d'usages. Ces outils permettent l'implémentation de méthodologies pertinentes pour la quantification, la représentation et la prospective des interactions Nature-Société et des situations de conflits.

Les principes de modélisation de l'exemple présenté ici à propos du déroulement de l'activité ostréicole sont très orientés vers les usages « productifs » auxquels le déterminisme et l'optimisation sont très adaptés. Cependant, ces principes ne permettent pas la formalisation des usages récréatifs. Ceux-ci font appel à des choix souvent effectués à l'échelle de l'individu (Gimblett & Skov-Pedersen, 2008). L'hétérogénéité des choix individuels peut produire des formes d'occupation spatiale et d'interactions Nature-Société particulières, méritant d'être explorées.

Chapitre VI – La simulation micro-spatiale pour l'aide à l'explicitation des situations de conflits d'usages

Nota Bene : Le chapitre VII est dérivé d'un article : Référence : Tillier I., Lecomte P. and Robin M., (soumis 2011), PAPISCH : an Agent Based Model to simulate the spatial impact of shellfishers behaviour, Environmental modeling and software, Elsevier.

Au-delà de la modélisation conceptuelle et de son implémentation pour la structuration de l'information géographique, il est nécessaire de développer des outils permettant de simuler les processus d'interactions spatio-temporelles générant des conflits d'usages. Ce chapitre s'attache à démontrer l'intérêt de ces outils pour une étude menée dans notre travail : les interactions entre pêche à pied de loisirs et environnement littoral. La spatialisation de cet usage repose en effet sur une prépondérance des choix individuels des pêcheurs dans leur déplacement.

L'activité de pêche à pied de loisir est en pleine expansion sur la façade atlantique française. Elle induit des impacts sur l'environnement intertidal. Mais si ces impacts ont été largement décrits par les scientifiques, l'objet jugé perturbateur dans le système l'a beaucoup moins été. Cette section s'attache à présenter la deuxième phase d'un projet de recherche débuté en 2008 sur le secteur du Gois/Sébastopol, entre l'île de Noirmoutier et le continent. La première phase réalisée entre 2008 et 2009 a consisté en un suivi de l'activité de pêche à pied pour acquérir la connaissance nécessaire à la formalisation des processus complexes à l'œuvre sur la zone (Annexe II). Ces éléments seront brièvement rappelés ici mais le cœur du contenu présenté s'articulera autour de la conception et l'exploitation d'un modèle multi-agents développé à partir de cette base de connaissance. Ce modèle (PAPISCH) a ainsi pour but d'évaluer l'impact spatial des comportements hétérogènes des pêcheurs à pied. Il sera présenté de manière normalisée selon le protocole « Overview, Design concepts and Details » (ODD) (Grimm & al., 2010) et ses résultats seront analysés. Une discussion centrée sur son impact en termes d'aide à la décision pour la gestion territoriale sera effectuée. Enfin, les perspectives d'ajouts de briques logicielles supplémentaires en lien avec les forts

enjeux environnementaux de la zone seront évoquées.

Le changement d'échelle d'analyse induit par le postulat de ce travail (les comportements individuels des pêcheurs à pied ont un impact sur l'occupation spatiale de l'estran), est au cœur de l'analyse des conflits d'usages (Gimblett & Skov-Petersen, 2008). L'objectif est d'appréhender comment les processus d'occupation spatiale, menés à l'échelle des individus, influe sur la production de conflits. Le cas d'étude utilisé ici se place dans un cadre de double conflit latent entre gestionnaires et pêcheurs à pied de loisirs et entre pêcheurs à pied de loisirs et professionnels. L'accroissement du nombre de pêcheurs à pied de loisirs sur le secteur, et en particulier dans des zones non exploitées précédemment, nourrit les craintes des pêcheurs professionnels et des gestionnaires du site sur une dégradation des stocks de coquillages et de l'environnement intertidal (herbiers de zostères et avifaune limicole).

VI.1 Problématique et présentation de l'espace d'étude

VI.1.1 Thématique et problématique générale

On observe sur les côtes atlantiques françaises une expansion et une intensification de l'activité de pêche à pied de loisirs. Le ramassage des coquillages tels les palourdes (*Tapes Sp.*), coques (*Cerastoderma edule*), couteaux (*Solen Sp.*), huîtres (*Crassostrea Gigas*), tellines (*Tellina Sp.* & *Donax sp.*), etc. par des pêcheurs non professionnels est ainsi en croissance constante. La comparaison entre deux études menées par l'IFREMER (Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER) sur la fréquentation des sites de pêche à pied le démontre (Maggy & al., 1998 ; Ratiskol & al., 2011). Sur notre secteur d'étude, tant du point de vue du nombre de pêcheurs (519 en 1997, 778 en 2009 soit 49,9% d'augmentation) que de l'occupation spatiale sur les gisements on note une forte augmentation entre 1997 et 2009. En dehors de quelques études, le faible niveau de connaissance sur le fonctionnement de cette activité représente une difficulté pour l'évaluation des impacts environnementaux de cet accroissement.

Ce constat motive de nombreuses questions chez les gestionnaires et les scientifiques. Elles s'organisent autour de deux axes : (i) pouvoir évaluer si la pérennité

des gisements (et donc de l'activité) est menacée et (ii) comprendre, qualifier et quantifier les impacts de cet accroissement sur l'environnement intertidal en général.

En effet, au-delà des prélèvements en coquillages, dans certains sites la qualité des biocénoses semble être mise à mal. De nombreux travaux traitent de ces impacts (Pfister & al., 1992 ; Fitzpatrick & Bouchez, 1998 ; Boese, 2002 ; Dias & al., 2008 ; Navido & Masero, 2008). L'exploration des impacts de la pêche à pied sur le dérangement de l'avifaune a été particulièrement investie par les biologistes et éthologues. Cela a été la base de modèles individus-centrés simulant les caractéristiques éthologiques des oiseaux et leur pendant physiologique (Goss-Custard & al., 1995 ; Triplet & Schricke, 1998 ; Triplet & al., 1998 ; West & al., 2002 ; Stillman & al., 2003 ; Caldow & al., 2004). Ces études sont généralement centrées sur des espèces et non sur des espaces, c'est entre autres en ce sens que nous nous en différencions. L'entrée par l'activité humaine a également été assez peu explorée. Cela positionne notre travail dans une voie novatrice d'étude des anthroposystèmes littoraux complexes.

VI.1.2 Présentation de l'espace d'étude

Les grands estrans à sédiments meubles de la côte Est de l'île de Noirmoutier sont des sites d'étude particulièrement intéressants sur cette thématique (figure 79). En effet, il s'agit de secteurs très prisés pour la pêche à pied du fait de gisements importants de palourdes et de l'accessibilité élevée de l'estran. Il y a ainsi deux types différents d'accès à l'estran. Le Gois, chaussée submersible de 4,5 Km entre l'île et le continent, est majoritairement utilisé par les pêcheurs occasionnels. Trois accès par la digue du polder de Sébastopol situé à l'Ouest de l'estran sont aussi possibles bien que demandant une plus grande connaissance de la zone. Les habitués empruntent majoritairement ces accès.

Outre la présence de gisements de coquillages importants, ces estrans sont également un site de nourrissage pour l'avifaune limicole très présente dans le secteur, bordé par la Réserve Naturelle Régionale (RNR) du polder de Sébastopol. Enfin, sur ces estrans sont implantés des herbiers de *Zostera noltii* (Prinet, 1999 ; Barillé & al,

2010), habitats remarquables et cités comme menacés dans la « Directive Habitats » de l'UE (EEC, 1992).

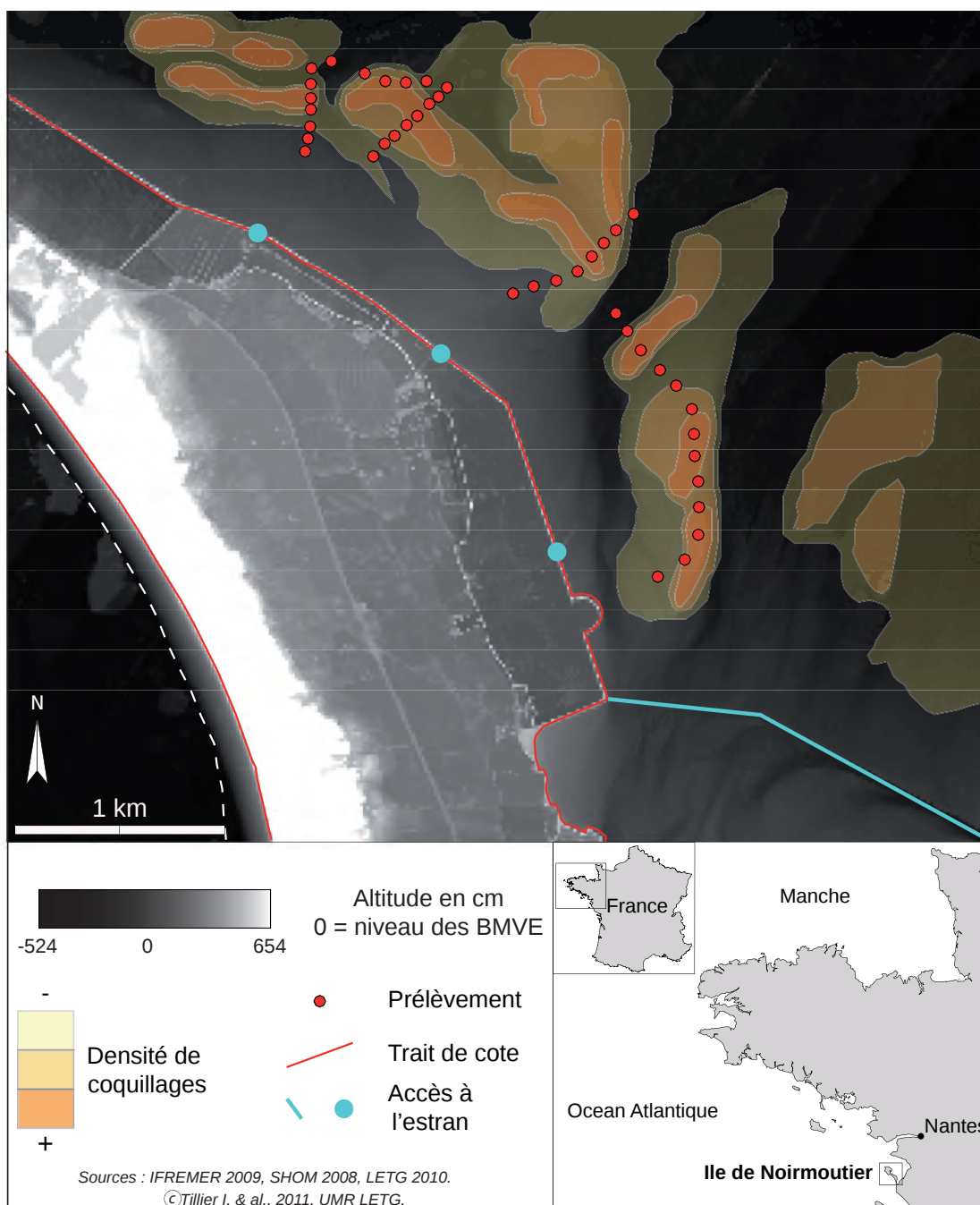


Figure 79 : Carte de localisation et présentation du secteur d'étude (Tillier & al., 2011).

Cette superposition spatiale entre activité de pêche à pied et forts enjeux environnementaux a motivé une collaboration entre scientifiques et gestionnaires. Les gestionnaires de la RNR de Sébastopol (Communauté de Communes de l'Ile de Noirmoutier, collectivité territoriale) et les associations valorisant le secteur (Ligue pour la Protection des Oiseaux) étant très intéressés par l'analyse des interactions entre pêcheurs à pied et environnement intertidal, une étude conjointe a été lancée en 2008.

Elle consistait en un suivi de l'activité de pêche à pied pour acquérir la connaissance nécessaire à la formalisation des processus complexes à l'œuvre sur la zone. Ce travail de terrain, mené sur les années 2008 et 2009, s'organisait autour de trois types de mesures effectuées à une fréquence bi-mensuelle lors de marées de coefficients supérieurs à 80. Ces mesures sont : (i) le dénombrement et la géolocalisation des pêcheurs sur l'estran à l'heure de basse mer ; (ii) la caractérisation temporelle des séances de pêche (heures de départ, de retour, temps moyen) et (iii) l'analyse des parcours des pêcheurs couplée à une rapide enquête sociologique. Les principaux résultats de ce premier travail sont la qualification et la quantification de l'activité sur la zone ainsi que la mise en évidence de profils de pêcheurs différents suivant leur connaissance du terrain. Ces résultats ne seront pas présentés ici. Cette phase a surtout nourri le développement d'un modèle de simulation des comportements hétérogènes de pêche et de leurs impacts spatiaux.

VI.2 Méthodologie et description du modèle

Afin de décrire au mieux le modèle, nous avons opté pour la standardisation proposée par la nouvelle version du protocole « Overview, Design concepts and Details » (ODD) (Grimm et al., 2010). Celui-ci reprend en grande partie l'ancien, développé en 2006 (Grimm et al., 2006), mais clarifie certains points et évite les redondances passées. Il permet de présenter de manière claire et exhaustive les modèles à base d'agents.

VI.2.1 Objectifs

Le modèle PAPISCH (pour Pêche A Pied, Impact Spatial de Comportements Hétérogènes) a été conçu pour répondre à la question suivante : quel est l'impact spatial, en termes d'occupation et d'interactions, des comportements individuels des pêcheurs à pied sur la zone étudiée ?

Il est donc centré sur la formalisation et la simulation des comportements hétérogènes des pêcheurs. Par comportements hétérogènes nous entendons les règles individuelles de déplacements par lesquelles les pêcheurs atteignent leur but de ramassage. Cette manière d'entrer dans le sujet constitue une originalité forte du

travail. Car, comme déjà noté, les travaux sur la thématique partent généralement des entités impactées (avifaune, habitats...) et rarement de l'entité perturbatrice dans le système. Dans notre cas, le travail présenté est centré sur la perturbation. Il constitue le noyau d'un ensemble qui intégrera à moyen terme des modules additionnels sur les interactions entre pêcheurs et avifaune et entre pêcheurs et herbiers.

VI.2.2 Entités, variables d'états et échelles d'analyse

Ce modèle à base d'agents reprend une structure classique. Il manipule deux méta-types d'entités : un environnement et des agents. L'environnement représente l'espace de la zone d'étude. Les agents sont les pêcheurs à pied. Il circule sur et interagissent avec l'environnement. La figure 80 reprend les grandes classes d'entités et les grands types de relations entre celles-ci.

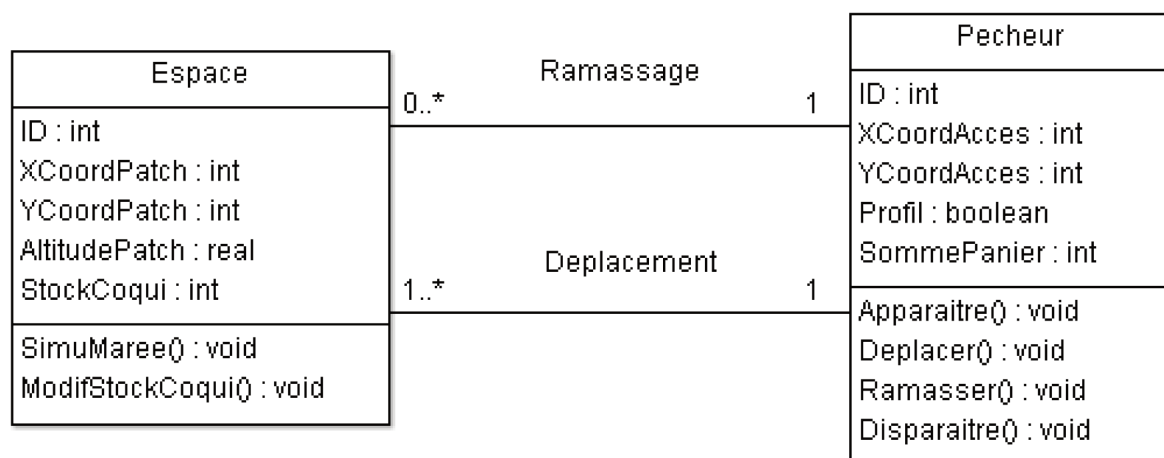


Figure 80 : Diagramme de classes simplifié du modèle PAPISCH (Tillier & al., 2011).

L'environnement est discrétisé en mailles carrées nommées « patches ». Chaque patch stocke deux attributs ou variables d'états. Le premier est invariant, c'est l'altitude au centre du carré. Cette donnée est utilisée pour la simulation de la marée. La deuxième est le stock de coquillages présents sur le patch. Cette donnée est mobilisée lors de la simulation et varie en fonction des prélèvements effectués par les agents. Par souci de simplicité, les espaces non pêchés (continent et accès) sont également identifiés par cet attribut qui prend alors des valeurs propres.

Les agents sont caractérisés par différentes variables. Ils reprennent des attributs génériques que sont : les coordonnées du point d'accès à l'estran, le panier (nombre de coquillages ramassés) et le profil. La valuation de ce dernier attribut induit d'importantes modifications de comportement. Car si leur architecture est conçue de la même manière, le paramétrage des profils par l'utilisateur à la pré-initialisation permet de recréer les comportements hétérogènes observés sur le terrain. Ce paramétrage concerne la perception de son environnement par l'agent.

L'échelle à laquelle nous nous situons est microspatiale. Bien que l'environnement ne soit pas projeté, il est issu de traitements via Geographical Information System et l'on connaît la taille d'un patch (20m*20m). L'espace de simulation dans son ensemble mesure 6,06 Km en abscisse et 5,12 Km en ordonnée. L'échelle temporelle est également fine. Une simulation se déroule sur une plage horaire de 2h00 encadrant avant et après la période de basse mer. Le pas de temps du modèle est adapté à cette finesse, il est de 2 minutes. Une simulation comporte donc 130 itérations, ce qui représente dans la réalité 4H20 (durée de l'étape plus et moins 2H00).

VI.2.3 Processus, opérations et choix logiciel

A chaque pas de temps de la simulation, un ensemble d'opérations est effectué, comme décrit dans la figure 81. Un groupe concerne la mise à jour de l'environnement (marée et stocks de coquillages). Une autre suite d'opérations est réalisée par les agents. Le détail de ces opérations sera donné dans la section 2.7. Les variables d'états (des agents et des patches) et l'affichage sont mis à jour, de manière synchronisée, à la fin de chaque itération.

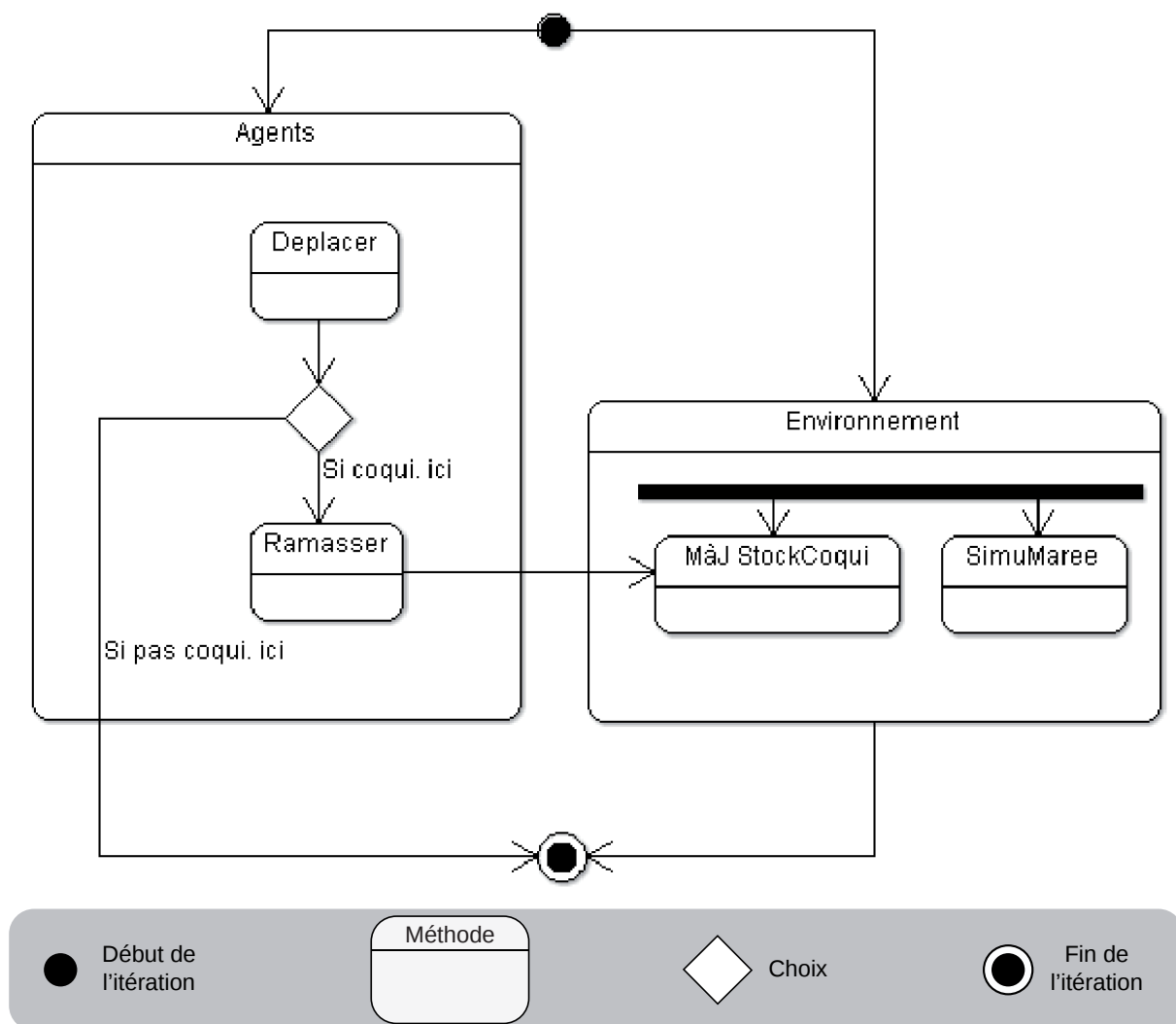


Figure 81 : Diagramme d'activités des éléments du modèle PAPISCH (Tillier & al., 2011).

Le choix de la plate-forme de simulation NetLogo (Wilensky & Rand, in press ; Tissue & Wilensky, 2004) s'est vite imposé. La simplicité de son utilisation mais également sa richesse (Grimm & Railsback, 2005 ; Grimm & Railsback, in press) ont permis de satisfaire à la fois les besoins immédiats mais également de prévoir des améliorations ultérieures comme le couplage effectif Système Multi-Agents/Système d'Information Géographique via le module GIS de NetLogo.

VI.2.4 Conception

Cette partie reprend les éléments de conception du protocole ODD. Ils sont discutés dans différents ouvrages (Railsback, 2001 ; Grimm & Railsback, 2005) et présentent une description exhaustive des points clés d'un modèle à base d'agents.

VI.2.4.a Principes de base

Ce travail de modélisation a été réalisé ex nihilo. Il ne repose pas, même en partie, sur des travaux déjà réalisés. Le principe de base de cet ABM est de simuler la circulation et les prélèvements de pêcheurs à pied sur un estran. Ces deux actions schématiques sont contraintes par un ensemble de variables liées (i) à l'accessibilité des gisements de coquillages en fonction de la marée et (ii) aux comportements de recherche des pêcheurs à pied (plus ou moins bonne connaissance de l'environnement d'où une orientation plus ou moins rationnelle et directe).

Ces principes sont réalistes et ont été observés sur le terrain. Néanmoins, le niveau de complexité a été clairement réduit par rapport aux données de terrain. En effet, les comportements des pêcheurs avaient initialement été classifiés en trois profils : (i) les habitués (séances de pêche moins longue, distances parcourues plus courtes et trajets rectilignes vers les gisements les plus importants), (ii) les occasionnels (séances de pêche longues, distances parcourues plus importantes, et trajets plus erratiques) et (iii) les opportunistes (suivi des habitués). Nous n'en avons conservé que deux dans le modèle : habitués et occasionnels car le troisième était statistiquement bien moins présent (environ 10%).

Le but de cette formalisation de comportements hétérogènes des agents est de reproduire la réalité sur une situation observée pour calibrer et valider le modèle. Il est ensuite envisageable d'effectuer des expérimentations en modifiant des paramètres pour amener des éléments de prospective territoriale aux gestionnaires du site étudié.

VI.2.4.b Emergence

L'émergence (au sens d'élément récurrent recherché) dans ce modèle concerne (i) des formes et des processus d'occupation de l'espace et (ii) des quantités de prélèvement et de d'utilisation des unités spatiales. Il s'agit en effet de repérer si des secteurs fortement pêchés ou des zones de passage important dans la réalité, le sont également dans la simulation.

VI.2.4.c Adaptation

L'environnement se modifie à chaque pas de temps avec les prélèvements en coquillages effectués par les agents, mais également avec l'évolution de la marée. L'adaptation des agents est directement issue de l'analyse de leur environnement à chaque pas de temps. Ils analysent en effet un espace variable (selon le profil) autour d'eux et détectent les valeurs de densité de coquillages et l'eau. Ils adaptent ensuite leurs déplacements en fonction de cette analyse (e.g. retour en direction du patch d'accès si perception de la marée lorsqu'elle remonte).

VI.2.4.d Objectifs

Les objectifs des agents sont d'ordre individuel uniquement (pas de notion de groupe). Leur but est de remplir leur panier de coquillages. Il n'y a d'ailleurs que deux motifs de retour au point d'accès : panier plein ou rencontre de la marée montante. Pour l'optimisation du ramassage, les agents cherchent à se rendre vers les zones de gisements denses en minimisant les distances parcourues. Cette recherche d'optimisation est contrainte par la perception de l'environnement, variable selon le profil.

VI.2.4.e Apprentissage

Ce modèle ne traite pas de phénomènes d'apprentissage. En effet, l'échelle temporelle du phénomène ne correspond pas à un temps lors duquel un apprentissage est visible. Dans la réalité, l'apprentissage « du terrain » pour les habitués, a été réalisé auparavant, sur d'autres séances de pêche.

VI.2.4.f Prospective

PAPISCH est un outil construit pour la prospective territoriale. Cependant son utilisation dans ce cadre est à préciser. La prospective ne s'effectue pas dans le temps d'une simulation par apprentissage ou anticipation des agents. Elle se situe au niveau du modélisateur et de son rôle sur le paramétrage lors du modèle. Il est en effet possible de tester via la simulation des scénarii d'évolution des conditions sur la zone. Nous y reviendrons dans la partie 3, présentant les résultats de scénarii.

VI.2.4.g Perception

Les agents ont la perception de leur environnement. Ils repèrent deux variables d'états des patches dans un rayon variable autour d'eux (c'est le paramètre « radius », Cf. section 2.5). Ces deux variables sont la présence d'eau et le stock de coquillages. La détection d'eau à proximité lors du flot entraîne le retour de l'agent vers son patch de création (point d'accès à l'estran). L'analyse des valeurs de stocks de coquillages permet à l'agent de diriger son ramassage vers les zones les plus denses en ressource.

VI.2.4.h Interaction

Les agents modifient l'environnement uniquement par prélèvement de coquillages. Les agents pêcheurs à pied ayant un profil « habitué » ne prélèvent que sur les secteurs de densité moyenne (valeur = 2) à forte (valeur = 3) (détails en section 2.6) alors que les « occasionnels » prélèvent sur secteurs de toutes densités (valeurs = 1 à 3). Le prélèvement maximum par agent et pas de temps est égal à 1.

VI.2.4.i Stochasticité

Une petite partie des comportements est gérée de manière aléatoire, mais non réellement par défaut. Cela semble en effet être la réalité au vu de l'analyse de terrain effectuée. Elle concerne les déplacements des agents se situant dans un secteur dans lequel les valeurs de stock de coquillages sont identiques sur tous les patches analysés. Les agents effectuent alors un déplacement aléatoire sur les patches lui faisant face (déplacement de 1 patch par pas de temps correspondant à la vitesse moyenne de déplacement observée sur le terrain).

VI.2.4.j Groupes

Il n'existe pas de notion de groupes dans ce modèle. Les comportements des agents sont strictement individuels. Ils n'ont d'ailleurs pas de perception mutuelle car cela n'est pas apparu nécessaire au regard des profils retenus.

VI.2.4.k Observation

Il s'agit, grâce à ce modèle, de collecter et d'observer différentes données. Tout d'abord le modèle permet d'extraire un ensemble de données à comparer avec des données observées (processus de calibration développé dans le 3.1) : la distribution spatiale des pêcheurs à l'heure de basse mer et les distances moyennes parcourues par pêcheurs, et par profils. Il y ensuite des données non mesurées sur le terrain, car demandant une logistique lourde, mais qui représentent des indicateurs forts dans le cadre de la thématique étudiée. Il s'agit du nombre total de patches visités « Patch-cumul » (pour la circulation et le prélèvement ; un patch peut donc être comptabilisé plusieurs fois) et du nombre total de prélèvements effectués « Shell-cumul ».

VI.2.5 Initialisation

A l'ouverture du modèle, le paramétrage par défaut reproduit une situation typique sur le secteur (marée avec coefficient de 90, 100 pêcheurs partant du polder - dont 20% d'occasionnels - et 100 pêcheurs partant du passage du gois - dont 80% d'occasionnels).

L'utilisation du bouton initialisation prépare la simulation. Lors de cette initialisation s'opèrent différentes opérations :

- La création de l'espace de simulation avec le chargement des fichiers renseignant l'altitude et les stocks de coquillages. Ces données sont intégrées comme attributs des patches. La couche sur les gisements est traduite en cartographie visible par l'utilisateur.

- L'initialisation de la hauteur d'eau en fonction du coefficient de marée choisi par l'utilisateur. Ces valeurs reposent sur un sous-modèle de marée.

- La pré-initialisation des agents selon les paramètres définis par l'utilisateur. Ces paramètres concernent le nombre d'agents, les pourcentages des différents profils et la capacité des agents à analyser leur environnement (distance de visibilité).

- Le pré-calcul du nombre d'agents partant des points d'accès aux différents pas de temps s'effectue également à l'initialisation. En effet, sur la base des observations

de terrain, les départs des pêcheurs sont distribués tous les 5 pas de temps entre le démarrage de la simulation et l'heure de basse mer. Du fait des arrondis (utilisation de pourcentages), il y a un rattrapage au pas de temps 30 (soit une heure avant la basse mer) pour atteindre exactement le nombre défini par l'utilisateur.

Différents graphiques sont intégrés à l'interface du modèle (figure 82). Ceux-ci permettent d'observer en temps réel lors des simulations l'évolution de différents éléments (paramètres et résultats) : hauteur d'eau, nombre de pêcheurs sur l'estran, nombre cumulé des prélèvements en coquillages (Shell-cumul), nombre cumulé des patches fréquentés par les pêcheurs (Patch-cumul) et distances moyennes parcourues par les pêcheurs (par profils).

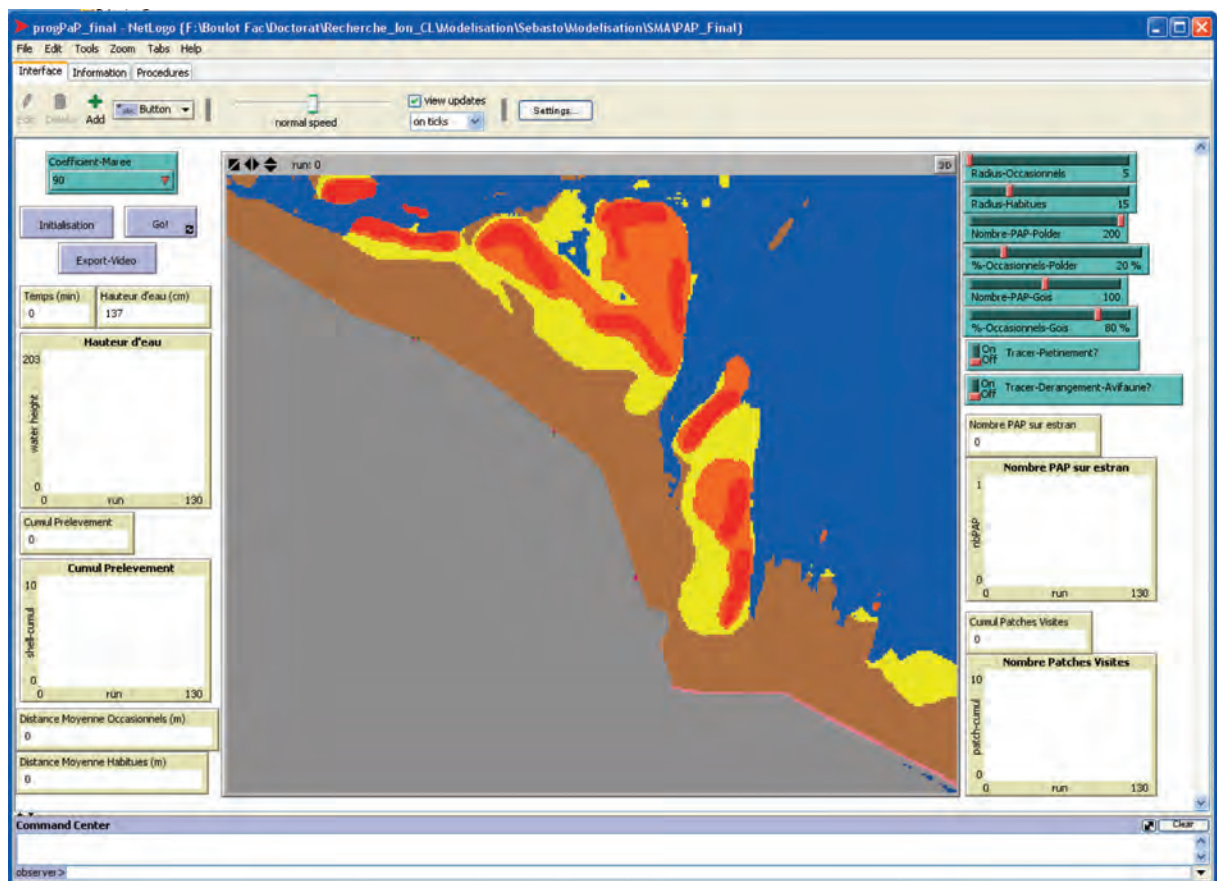


Figure 82 : Visualisation de l'interface utilisateur du modèle PAPSICH (Tillier & al., 2011).

VI.2.6 Données en entrées

Les données en entrée dans le modèle concernent la construction de l'environnement. Elles sont construites via SIG (ArcGIS) et intégrées dans NetLogo par le chargement de fichiers texte avec séparateurs à l'initialisation.

Le premier input est l'altitude au centre des patches (étalonnée sur le zéro hydrographique des cartes marines du SHOM). Cette donnée est dérivée d'un MNT issu d'un levé LIDAR (Light Detection And Ranging) de la zone étudiée (Hitier & al., 2010). Elle sert de base à la simulation de la marée.

Une autre couche d'information concerne la définition des accès et des gisements de coquillages. Les zones d'accès et le trait de côte ont été délimités par relevés GPS (Global Positioning System) sur le terrain. Le manque de données sur les gisements (COREPEM, 2006) a forcé à une délimitation des zones et de leur densité par recoupement entre des paramètres morphologiques de l'estran (altitude et sédimentologie) et des « dires d'experts ». Ce dernier point a consisté à faire cartographier les gisements à différents experts. Un panel d'une douzaine d'experts (pêcheurs à pied professionnels, responsables d'associations de pêche à pied de loisir, chargés d'étude de la Direction Départementale des Affaires Maritimes (DDAM), gestionnaires du site et scientifiques locaux) nous a permis d'établir la spatialisation des gisements, jusque là fragmentaire. Leurs cartographies étaient cohérentes.

Des relevés sur le terrain ont été réalisés pour vérifier la précision de cette délimitation. Ceux-ci se sont organisés en quatre transects sur lesquels 44 prélèvements (quadrats) ont été effectués (figure 79). Chaque quadrat (1m^2) a été analysé et le poids des Coquillages de taille Autorisée pour le Ramassage (CAR) a été mesuré. Ces relevés ont mis en évidence la grande variabilité spatiale de densité de coquillages. Cependant, ces densités sont apparues cohérentes entre cartographie à dire d'experts et relevés de terrain. Ainsi les quadrats effectués dans les zones préalablement définies comme les plus denses ont révélé une moyenne de 310 grammes CAR par mètre carré (min = 210 ; max = 400 ; σ = 44.9). Pour les zones de densité intermédiaire, la moyenne est de 172,5 grammes de CAR / m^2 (min = 130 ; max = 250 ; σ = 49.8) et pour celles de faible densité, elle est de 71.4 grammes de CAR / m^2 (min = 30 ; max = 140 ; σ = 33.7). Les zones avec densité nulle de CAR ou

non exploitable ont, elles aussi, été confirmées avec une moyenne de 11.4 grammes de CAR / m² (min = 0 ; max = 20 ; σ = 8.9).

Si cet échantillonnage ne permet pas de mener une approche quantitative des prélèvements, il a par contre permis de valider la cartographie des gisements de coquillages. Une analyse statistique a été réalisée pour confirmer le lien entre les données qualitatives sur la densité des gisements (issue des dires d'experts) et les données quantitatives en grammes de coquillages par m² (issues de relevés de terrain). Une analyse de variance (ANOVA) entre les deux séries statistiques révèle un R² de 0.88, ce qui valide l'intensité de la relation. Pour confirmer la significativité de la relation, nous avons utilisé un test non paramétrique de Kruskal-Wallis. La valeur de Khi² obtenu est de 36.17. En se référant à la table du Khi², le Khi² obtenu est inférieur au Khi² de référence. La relation est donc significative.

VI.2.7 Sous-modèles

PAPISCH utilise différentes méthodes présentées dans la Figure 3. Il convient de les détailler.

Un premier sous modèle fonctionnant de manière autonome est celui permettant la simulation de la marée. Il ne repose pas sur un modèle de marée stricto sensu, c'est-à-dire intégrant une pente hydraulique. Il est basé sur le renseignement des hauteurs d'eau via les données fournies par le Service Hydrographique et Océanographique de la Marine (SHOM) et la conception d'équations reproduisant leur évolution par coefficients de marée. Les valeurs produites par ces équations, intersectées aux valeurs altitudinales des patches permettent de définir les unités spatiales en eau aux différents pas de temps des simulations. Cette simplification plus gérable dans le cadre de la plate-forme NetLogo et amplement suffisante à notre problématique a été validée par des experts (Hitier & al., 2010).

La deuxième méthode nécessitant un détail important concerne la procédure de recherche de coquillages des agents. Comme le montre la figure 83, cela reste une procédure assez simple. A chaque pas de temps, les agents réalisent les différentes sous-méthodes suivantes : (i) analyse de l'environnement et repérage du patch avec la valeur de densité de coquillages la plus élevée, (ii) déplacement de 1 à 2 patches

en direction de la zone repérée et (iii) prélèvement sur le patch atteint. Deux éléments sont à préciser. Tout d'abord, si les patches analysés présentent des valeurs égales, l'agent se dirigera de manière aléatoire (c'est l'élément de stochasticité évoqué dans la section 2.4.9). Ensuite, l'agent prélève par défaut sur le patch sur lequel il se situe à la fin du pas de temps, même s'il n'a pas réussi à atteindre le patch avec la valeur la plus élevée. Cela est cependant modulé selon les profils. Les agents avec le profil « pêcheurs occasionnels » prélèvent sur les patches de toutes densités de coquillages alors que les agents avec le profil « pêcheurs habitués » ne prélèvent que sur les patches ayant de fortes densités de coquillages (Cf. section 2.4.8).

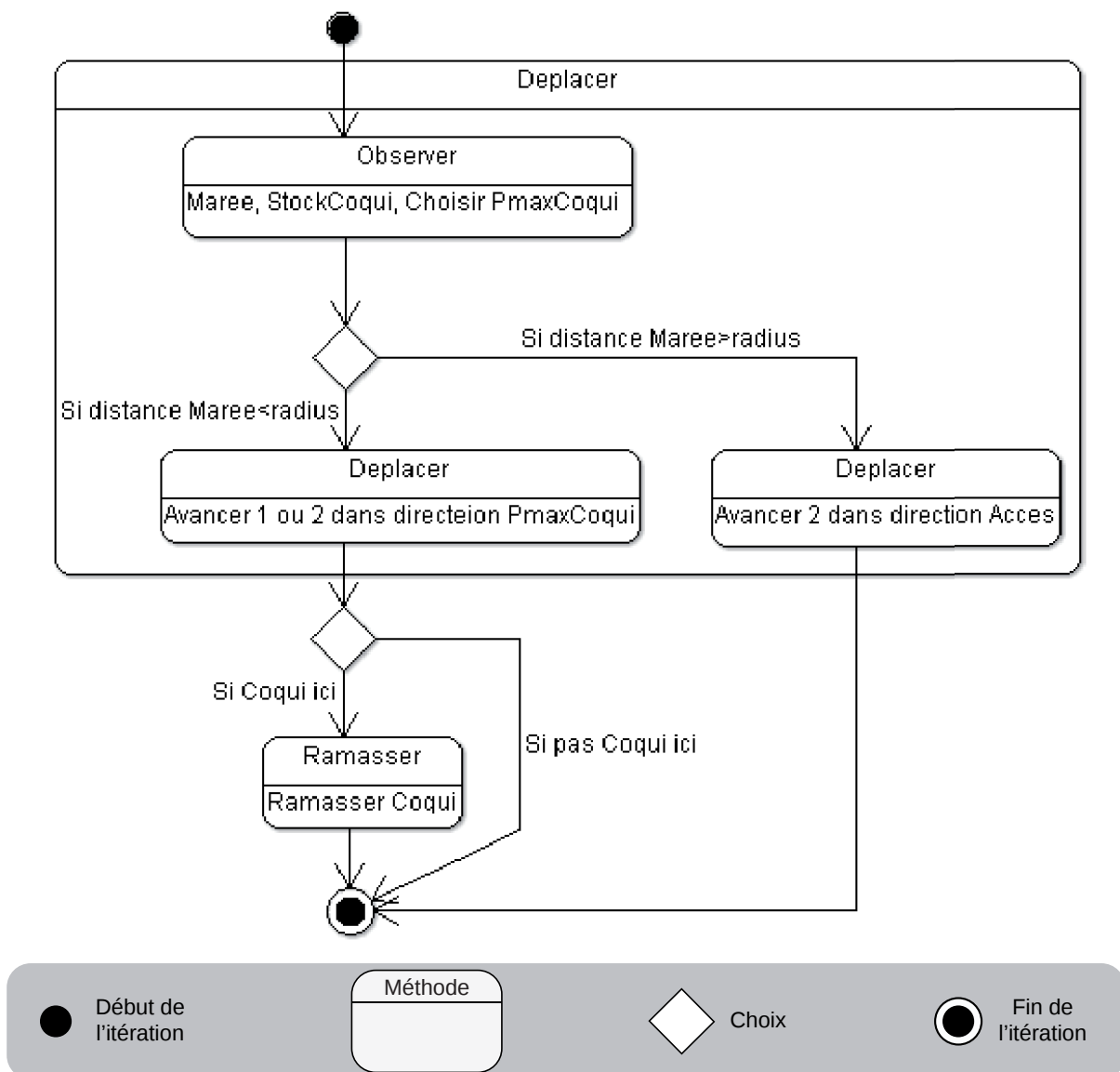


Figure 83 : Diagramme d'activité détaillé de la méthode de recherche-déplacement-prélèvement appliquée aux agents (Tillier & al., 2011).

VI.3 Résultats

VI.3.1 Résultats préliminaires, calibration et analyse du comportement du modèle

VI.3.1.a Résultats préliminaires et calibration du modèle

Les simulations permettent de produire différents résultats (section 2.4.11). Ils s'organisent en deux catégories distinctes. La première concerne des résultats traitant de paramètres spatiaux : la distribution spatiale des pêcheurs à l'heure de basse mer et les distances moyennes parcourues par pêcheur et par profil. Ces données sont utilisées pour la calibration du modèle. Cette calibration est basée sur la corrélation entre les données issues de mesure de terrain et celles issues de simulations. Par calibration du modèle, on entend la modification du modèle avec l'objectif d'augmenter cette corrélation. Le paramètre modifiable est la taille du « panier » des pêcheurs. Par un ajustement de cet élément, on rejoue indirectement sur la durée des séances de pêche, les distances parcourues par les pêcheurs et les zones visitées et prélevées par ceux-ci. C'est donc un élément central qui a permis après, la phase de calibration, d'obtenir les résultats suivants :

- Les distances moyennes parcourues sont quasiment similaires entre observation et simulation : pour les pêcheurs occasionnels, on observe une variation de +7,89% avec la simulation (4688m simulés contre 4345m observés) et pour les pêcheurs habitués, cette variation est de +4,66% (3116m simulés contre 2977m observés). Ce léger décalage s'explique par le lissage de la distribution spatiale des gisements dans le modèle. L'acquisition d'une information géographique plus fine devrait permettre à terme de réduire ce décalage.

- La distribution spatiale des pêcheurs à l'heure de basse mer présente également des valeurs proches entre situations réelle et simulée. En effet, 87,6% des patches occupés lors d'observations le sont aussi dans la simulation, et 84,2% des patches non occupés lors d'observations, le sont également avec la simulation. De manière générale, dans la réalité comme dans le modèle, l'heure de basse mer correspond à

la période la plus productive en termes de prélèvements. Les pêcheurs se concentrent donc sur les gisements les plus densément fournis peu accessibles hors horaire de basse mer.

VI.3.1.b Analyse de l'espace des paramètres et de leur sensibilité

Une fois le modèle calibré, deux autres données en sortie du modèle peuvent être exploitées. Elles rentrent dans la deuxième catégorie de résultats, qui renvoient à des paramètres non mesurés sur le terrain mais relatant l'occupation spatiale de manière quantitative. Ainsi, le nombre total de patches visités (Patch-cumul) et le nombre total de prélèvements effectués (Shell-cumul) sont deux marqueurs stables (car présentant respectivement des écarts types en pourcentages de la moyenne de 4.06% et de 1.37% sur 100 simulations). Ils ont servi pour l'analyse de sensibilité générale des paramètres modifiables par l'utilisateur. Celle-ci consiste à tester les paramètres un à un (variation de la valeur initiale) pour extraire leur impact sur les résultats finaux. Les résultats de cette analyse sont présentés dans la figure 84.

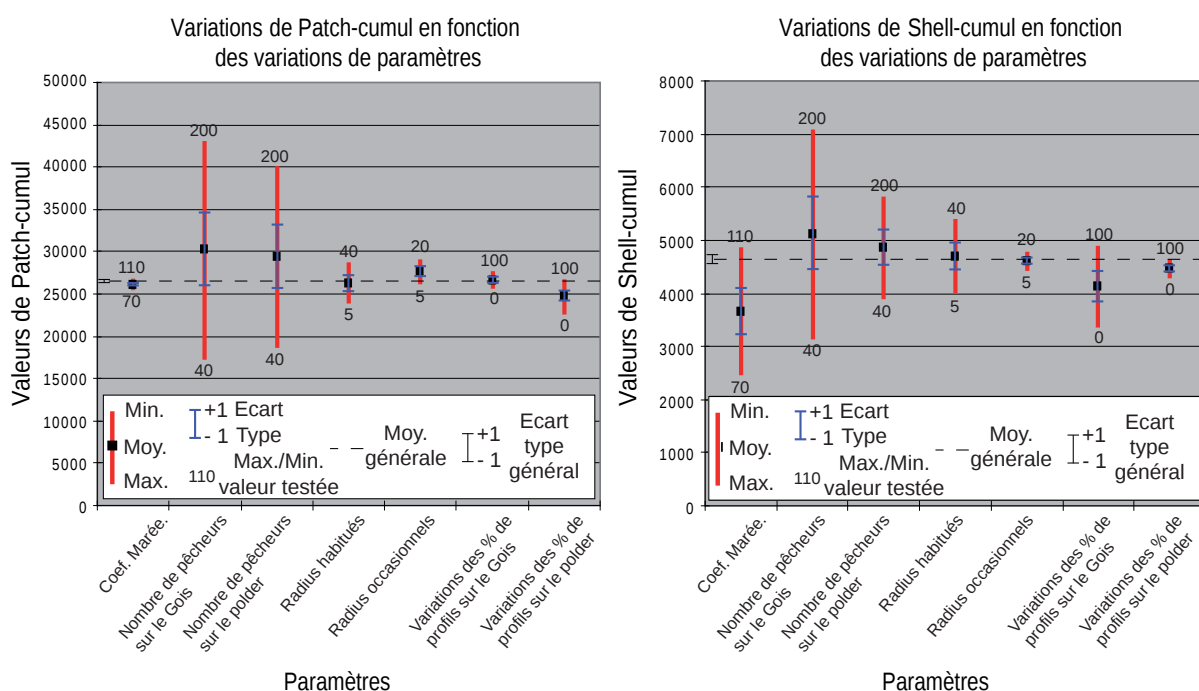


Figure 84 : Analyse de la sensibilité des résultats suivant les variations des paramètres initiaux (Tillier & al., 2011).

On peut noter que, de manière logique, ces deux variables présentent des sensibilités différentes aux variations de mêmes paramètres. Si l'on prend l'exemple de l'impact des coefficients de marées sur les deux paramètres, on voit clairement la faible influence sur le nombre de patches visités. L'amplitude des variations provoquées par les changements de valeur de ce paramètre représente 3,9% de l'amplitude provoquée par le paramètre le plus sensible (Nombre de pêcheurs partant du Gois). Cela s'explique par la nécessité pour les pêcheurs de visiter de nombreux patches pour remplir leur panier. Par contre, concernant le nombre total de prélèvements le coefficient de marée s'avère être un paramètre beaucoup plus sensible. L'amplitude des variations provoquées par les changements de valeur de ce paramètre représente cette fois 60,5% de l'amplitude provoquée par le paramètre le plus sensible (Nombre de pêcheurs partant du Gois). Cela est lié au différentiel d'accessibilité des gisements en fonction du marnage.

S'il ne serait pas sensé d'établir une équation résumant la sensibilité des paramètres, du fait de l'hétérogénéité des tests, on peut néanmoins les classer (figure 85).

Paramètres	Amplitude Patch-cumul	% Amplitude Max. Patch-cumul	Amplitude Shell-cumul	% Amplitude Max. Shell-cumul	Moy. % Amplitude Max.
Nombre de PàP Polder	25459	100,00	3872	100,00	100,00
Nombre de PàP Gois	20905	82,11	1844	47,62	64,87
Coeff. Marée	982	3,86	2342	60,49	32,17
Radius Habités	4378	17,20	1319	34,07	25,63
Variations profils PàP Gois	1494	5,87	1455	37,58	21,72
Variations profils PàP Polder	3613	14,19	275	7,10	10,65
Radius occasionnels	2521	9,90	292	7,54	8,72

Légende : « Amplitude Patch-cumul » est l'amplitude de Patch-cumul provoquée par les variations du paramètre ; « % Amplitude Max. Patch-cumul » est le pourcentage d'amplitude provoqué par le paramètre en rapport avec l'amplitude max ; « Amplitude Shell-cumul » est l'amplitude de Shell-cumul provoquée par les variations du paramètre ; « % Amplitude Max. Shell-cumul » est le pourcentage d'amplitude provoqué par le paramètre en rapport avec l'amplitude max ; « Moy. % Amplitude Max. » est la moyenne de « % Amplitude Max. Patch-cumul » et « % Amplitude Max. Shell-cumul », qui représente la sensibilité du paramètre.

Figure 85 : Classement des paramètres par sensibilité (Tillier & al., 2011).

Ainsi, les paramètres les plus sensibles sont le nombre de pêcheurs partant des accès par le polder puis le nombre de pêcheurs partant du passage du Gois puis les coefficients de marée, etc. La section suivante va permettre d'utiliser et compléter cette analyse, en se basant sur des scénarii d'évolution.

VI.3.2 Scenarii d'évolution

Le partenariat avec les gestionnaires du site a alimenté un certain nombre de réflexions prospectives rendues possibles par l'utilisation de cet outil. C'est par ce biais que nous avons pu tester son utilité en termes d'aide à la décision pour la gestion territoriale. Les questionnements sur l'évolution des impacts s'organisent autour de trois points : (i) augmentation du nombre de pêcheurs partant du polder, (ii) modification des profils des pêcheurs partant du polder et (iii) évolution des impacts si les gestionnaires limitaient les accès à l'estran.

VI.3.2.a Evolution du nombre de pêcheurs au départ du polder

Comme l'a montré la présentation de l'espace d'étude, les enjeux environnementaux se trouvent principalement à proximité du polder. La tendance actuelle observée par les gestionnaires est une hausse de fréquentation des accès à l'estran par ce secteur. Sur la base des données récoltées, ils ont effectué une projection à dix ans qui correspondrait au doublement, par rapport à 2009, du nombre de pêcheurs partant des trois accès par le polder. L'intégration de ce nouveau paramétrage (200 pêcheurs au lieu de 100 au départ du polder) dans le modèle, a permis de mettre en évidence le fort impact qu'aurait cette évolution. En effet, les résultats moyennés sur 100 simulations montrent de potentielles augmentations de 59,8% du nombre de patches visités et de 46,7% du nombre de prélèvements. Ces données quantitatives sont accentuées par la nouvelle distribution spatiale des zones de pêche. Les pêcheurs semblent en effet investir des zones plus éloignées des accès et ainsi restreindre les zones qui restaient non exploitées. Du point de vue de la dégradation des herbiers de zostères comme du dérangement de l'avifaune, ces modifications potentielles de l'occupation spatiale alertent les gestionnaires et les poussent à investir dans des études plus approfondies.

VI.3.2.b Evolution des profils de pêcheurs

La simulation de ce scénario reposait sur l'hypothèse d'une augmentation du pourcentage de pêcheurs à pied « occasionnels » sur le secteur accessible par le polder. En paramétrant le modèle de manière à générer non plus 20% mais 80%

d'occasionnels sur ce secteur nous avons pu observer différents éléments. Tout d'abord, la quantité de coquillages prélevés reste la même (augmentation insignifiante de 0.22%). Ensuite, l'occupation spatiale évolue négativement : -6.22% de patches visités par rapport à la situation d'origine. Ces résultats sont à analyser de la manière suivante : l'augmentation de la part des occasionnels sur le secteur se traduit par un déplacement des zones les plus pêchées. Les gisements les plus denses, mais aussi moins accessibles car plus éloignés des accès, ramassés par les habitués, sont laissés de côté par les occasionnels au profit de secteurs moins denses mais plus accessibles.

La crainte des gestionnaires de voir s'accroître l'occupation spatiale de l'estran avec une présence plus importante de pêcheurs occasionnels venant du polder a donc été en partie dissipée. En effet, les simulations ont confirmé le discours que tenaient les associatifs de la pêche à pied, avançant que les secteurs pêchés ne sont simplement pas les mêmes entre les différents profils.

VI.3.2.c Evolution des accès à l'estran pour l'aménagement d'un refuge ornithologique

Ce scénario est en lien direct avec une possibilité évoquée par les gestionnaires pour augmenter l'espace de tranquillité des oiseaux sur l'estran. En effet, la configuration spatiale des accès à l'estran par le polder permet d'envisager la fermeture d'un accès. L'utilisation de PAPISCH avait donc pour but d'expérimenter virtuellement l'impact qu'aurait cette action de gestion.

L'environnement spatial de la simulation a donc été modifié avec la suppression de l'accès médian par le polder. Puis, les résultats de 100 simulations intégrant cette nouvelle spatialisation des accès ont été comparés aux résultats en situation initiale. Si les données quantitatives indicatrices de l'utilisation spatiale et des prélèvements ne font apparaître qu'un faible impact de cette modification (-0.05% du nombre de patches visités et -4.34% du nombre de prélèvements), il en est autrement pour la distribution spatiale des secteurs utilisés. La figure 86 regroupe des captures d'écrans de la fin de deux simulations (situation normale à gauche et situation avec accès restreints à droite). L'espace représenté en blanc correspond à l'espace de dérangement de l'avifaune généré par les parcours des pêcheurs (espace tampon de 100 mètres égal à la distance d'envol moyenne). Comme on peut le noter, dans la

situation avec accès restreint à l'estran (situation de droite), un secteur reste vierge de tout passage.

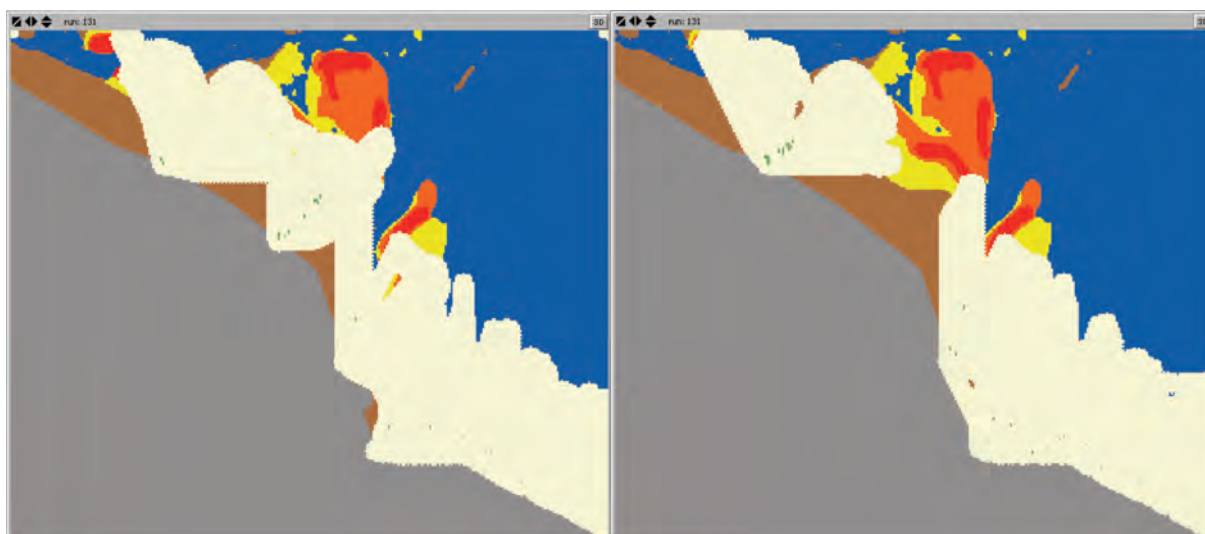


Figure 86 : Comparaison de l'occupation spatiale en situation normale (à gauche) et en situation d'accès à l'estran restreints (à droite) (Tillier & al., 2011).

Cette stratégie de gestion serait à discuter plus en détail avec les pêcheurs. En effet, si la situation présentée semble pouvoir convenir à tous les acteurs (peu d'impacts sur les prélèvements en coquillages et diminution de l'occupation spatiale), elle ne tient pas compte de l'évolution des stocks de coquillages. Or, en réduisant l'espace pêché, les gisements risquent de diminuer plus rapidement. De la même manière, une intégration de l'éthologie des oiseaux permettrait de mieux évaluer l'impact de cette mesure de gestion sur les populations limicoles (Madsen, 1998 ; Goss-Custard & al., 2000 ; Durell & al., 2005).

VI.4 Discussion

Le modèle PAPISCH, dans sa version initiale décrite ici, apporte des éléments de formalisation des comportements des pêcheurs à pied et de leurs impacts sur l'environnement intertidal. Il présente cependant certaines limites qui sont autant de pistes d'améliorations et de perspectives de travail.

VI.4.1 Un modèle spatial centré sur le comportement des pêcheurs

Cet outil conçu sur la base d'un important travail de terrain a avant tout permis de formaliser les comportements des pêcheurs à pied sur la zone d'étude. Ces comportements hétérogènes dans les choix de déplacements et de prélèvements ont été intégrés et validés par comparaison entre monde simulé et observation de terrain.

L'implémentation et l'exploitation d'un tel outil a permis de répondre en partie à la question posée sur la connaissance de l'impact spatial des pêcheurs à pied sur le secteur (Cf section 2.1). En effet, l'analyse des résultats du modèle (occupations spatiales récurrentes associées à des données quantitatives relativement stables) permet de valider l'influence des comportements individuels dans l'émergence de processus et formes d'occupation de l'espace.

Cependant, cette base demande à être enrichie par des éléments plus performants en termes de données en entrée et de modules formalisés sur les interactions avec les zostères et l'avifaune. Cette base ne permet qu'une quantification spatiale, ce qui ne saurait être suffisant dans la logique d'évaluation d'incidence de l'activité pour Natura2000 par exemple³⁰.

VI.4.2 Une base à articuler avec d'autres éléments

En son état actuel, PAPISCH est en attente d'ajout de nouvelles briques logicielles. Ces ajouts sont sensés permettre un raffinement de l'évaluation des impacts de la pêche à pied sur l'environnement intertidal. Les développements envisagés s'organisent autour de trois axes :

- Tout d'abord, la formalisation des pratiques de pêche en dehors de leurs aspects spatio-temporels. En effet, une approche plus fine des choix des pêcheurs en termes d'espèces et de tailles de coquillages ramassés pourrait améliorer sensiblement la quantification des prélèvements. Cela permettrait également de raffiner les

³⁰Avec la mise en place du réseau de protection européen Natura 2000 en mer, les activités récréatives sont soumises à évaluation d'incidences sur les habitats et espèces des zones considérées (http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/marine/index_en.htm). Pour le moment, les méthodologies d'évaluation sont en cours d'élaboration ou de test mais le modèle PAPISCH propose un élément utile en termes de spatialisation (occupation et processus spatiaux) de l'activité de pêche à pied de loisirs.

comportements spatiaux des pêcheurs (exemple observé sur le terrain : certains individus se cantonnent au ramassage de palourdes de gros calibre). Ce développement est largement lié à une meilleure connaissance des gisements et de leurs dynamiques (Cf. section 4.3).

- Ensuite, il s'agit également d'améliorer la formalisation de la dynamique des herbiers de zostères et des interactions pêcheurs-herbiers. Dans la perspective d'évaluer la dégradation de ces herbiers par la pêche à pied, il est nécessaire de quantifier les impacts du piétinement et des affouillements du substrat sur les zostères, et de connaître la résilience des herbiers face à ces dégradations. Un partenariat avec une équipe de biologistes et géographes travaillant sur cette thématique à l'Université de Nantes, a été mis en place dans ce sens.

- Enfin, l'acquisition d'une meilleure connaissance des comportements de l'avifaune sur le secteur est la clé de l'intégration des interactions pêcheurs-oiseaux. S'il est en effet possible de synthétiser des données par la bibliographie (Triplet & al., 1998 ; Goss-Custard & al., 2006), les spécificités locales méritent d'être intégrées pour aboutir à une évaluation correcte. La réflexion sur les protocoles pour la collecte de données de terrain est en cours, en partenariat avec la Ligue pour la Protection des Oiseaux (LPO 85 – Antenne Marais Breton). Ces données concerneraient les distances d'envol et les dépenses caloriques associées aux envols et le raffinement de la spatialisation du potentiel de nourrissage des différents secteurs utilisés par les oiseaux.

Ce faisceau de perspectives augure la construction d'un outil, non plus uniquement spatial, mais également à même de quantifier les impacts sur la dégradation des herbiers de zostères et sur le dérangement des populations d'oiseaux. La durée de ces processus implique de pouvoir simuler des périodes plus longues. Des suites de simulations liées en termes de modifications de l'environnement devront donc être implémentées, permettant par exemple de simuler une saison de pêche à pied ou une saison d'hivernage des oiseaux.

VI.4.3 Une limite importante : la simplification de la cartographie des gisements.

Du fait de l'inexistence de données sur les gisements, le modèle PAPISCH n'intègre qu'une information géographique très schématique sur ce point (Cf. section 2.6). Ces données qualitatives permettent de manière générale une bonne reproduction des comportements des pêcheurs mais les simplifications effectuées sont sources de distorsions. Tout d'abord, l'hétérogénéité de la distribution spatiale sur le terrain est vectrice de parcours de pêche plus diversifiés que ceux produits par les agents du modèle. Ensuite, les règles d'interactions entre gisements et pêcheurs restent non exploitables dans une optique de quantification des prélèvements par le modèle.

Cette information doit donc être améliorée pour permettre plus finement l'évaluation des impacts de la pêche à pied sur l'évolution des stocks en coquillages, mais aussi pour affiner les comportements de pêcheurs et leur influence sur les herbiers et l'avifaune. Le raffinement de cette information doit être spatial, qualitatif et quantitatif. Pour parvenir à cette fin, l'organisation d'une campagne de relevés de terrain intégrant l'analyse de différents paramètres (espèce, nombre et taille des coquillages) est nécessaire. Les placettes devront être choisies selon un échantillonnage spatial suffisamment représentatif des différents sous-ensembles morphologiques de l'estran.

VI.5 Conclusion

Ce travail traitant des impacts des comportements individuels des pêcheurs à pied apporte un éclairage nouveau pour l'aide à l'évaluation des incidences de l'activité sur l'environnement intertidal. Si dans un premier temps, ce travail a été centré sur les choix spatiaux effectués par les individus, c'est que les comportements et l'occupation spatiale sont clairement au cœur des problématiques de dégradations se posant pour les gestionnaires sur le secteur d'étude.

Les possibilités d'un tel outil ont été ici évoquées en termes de scénarisation pour l'aide à la décision dans la gestion du secteur. L'utilisation de ce laboratoire virtuel est néanmoins bornée par différentes limites citées dans la section 4. Les perspectives de

développements à venir laissent cependant entrevoir la possibilité de quantifier les processus entrant en compte dans la dégradation des herbiers de zostères et le dérangement de l'avifaune.

De manière plus générale, PAPISCH s'inscrit comme un outil novateur pour l'évaluation des impacts d'une activité récréative sur laquelle peu de données existent du fait de son intensité aléatoire. La combinaison entre données issues d'observations et de simulations permet ici de franchir un pas important vers la quantification des processus spatiaux à l'origine de la production de conflits d'usages. Les seuils de tolérance des différents acteurs à la pression exercée sur leurs usages de l'espace sont variables mais cet outil offre la possibilité d'explicitier les pratiques, et ainsi de mieux comprendre les enjeux spatiaux et les antagonismes entre acteurs.

La simulation microspatiale représente donc un outil dont l'utilité pour la gestion des ressources et de leurs usages est avérée. Sa mise en œuvre dans un cadre participatif (non poussée à son extrémité dans notre cas d'étude), comme développé par le réseau ComMod³¹ (Etienne, 2010) est sans aucun doute une perspective intéressante.

³¹Le réseau ComMod (pour Companion Modeling) fédère des chercheurs de différentes disciplines impliqués dans des démarches de modélisation participative ayant pour but la gestion ou le partage de ressources. Ce réseau s'appuie majoritairement sur la plate-forme de simulation CORMAS développée au CIRAD mais bien plus que des choix techniques, c'est une approche, une position de recherche qui est défini par ce groupe. Plus d'informations sur : <http://cormas.cirad.fr/ComMod/>

Conclusion – L'approche spatiale des conflits d'usages, bilan et perspectives

1 Synthèse des résultats

1.1 La proposition d'un cadre conceptuel pour l'analyse spatiale des conflits d'usages

La problématique énoncée en introduction de cette thèse nous a amené à nous questionner sur les concepts utilisés et utilisables pour l'analyse spatiale des conflits d'usages. La synthèse bibliographique présentée dans la première partie a montré qu'il existe peu d'approches spatiales centrées sur l'analyse des conflits. Ce constat, ainsi que le travail d'analyse des conflits en baie de Bourgneuf, ont conduit à mettre en évidence l'apport de ces approches et à proposer des concepts pouvant encadrer ce type de travaux.

1.1.a La formalisation spatio-temporelle des objets (usages et ressources)

Les interactions entre objets génératrices de conflits d'usages présentent des niveaux de complexité différents. Ils sont fonction des caractéristiques des objets (permanents vs non permanents ; fixes vs mobiles) et de la mise en jeu d'une ressource (autre que spatiale) dans la relation. La formalisation des objets doit s'adapter à ces niveaux (figure 87).

S'il s'agit d'une problématique de superposition d'usages où seul l'espace est en jeu (cas des mouillages forains évoqué dans le chapitre IV), une spatialisation fine et une quantification des interactions avec d'autres usages permet de mettre en évidence les zones de plus forte pression. Les exigences sont différentes lorsque le conflit met en jeu l'utilisation et/ou la dégradation d'une ressource (biologique ou énergétique) ayant une dynamique propre³². Il est alors nécessaire de décrire dans l'espace et le

³²Ressource présentant un potentiel de dégradation (pollution, raréfaction) et des processus internes la rendant non inerte dans le temps (mobilité, renouvelabilité).

temps les pratiques en lien avec cette ressource et les processus internes à la ressource (exemple du déroulement de l'activité ostréicole).

Complexité des interactions entre objets	Type d'interactions entre objets	Méthode de formalisation des objets
	Interaction spatiale pérenne entre usages Ex : superposition	Spatialisation des usages
	Interaction spatiale non pérenne mais récurrente entre usages Ex : superposition liée à des usages saisonniers	Spatialisation des usages Définition de calendriers de pratiques
	Interaction spatiale récurrente entre usages et entre usages et ressource Ex : superposition et partage d'une ressource entre usages	Spatialisation des objets Définition de calendriers de pratiques Formalisation des processus spatio-temporels d'interactions avec la ressource

©Tillier I., 2011, UMR LETG.

Figure 87 : Cadre pour la formalisation des objets (usages et ressources).

Ces différentes méthodes de formalisations appellent des démarches différentes en termes d'acquisition de données. Il est possible suivant les cas d'utiliser des données très différentes. Cela va depuis des données très génériques (exemple de la réglementation de la pêche) à la définition de données quasi-individuelles des acteurs (exemple des comportements des pêcheurs à pied). Plus le niveau de connaissance des processus d'interactions avec la ressource doit être élevé, plus le travail demande à être nourri par des mesures de terrain.

1.1.b Une grille d'analyse de la genèse des conflits

Le second résultat général est la proposition d'une formalisation du système spatial de genèse des conflits d'usages. Basée sur l'analyse des conflits d'usages repérés en baie de Bourgneuf, celle-ci intègre les types de relations entre objets spatiaux (usages et ressources) dans un système. Ces relations sont caractérisées selon les types de relations spatiales et temporelles entre usages et selon la

mobilisation des ressources dans les interactions. Sa restitution sous la forme d'un modèle conceptuel normalisé (Unified Modeling Language) permet de disposer d'une grille de lecture des cas de conflits. Ce modèle semble tout à fait transposable à d'autres zones d'études et représente un apport conceptuel majeur de ce travail.

Ce système représente à la fois un résultat du point de vue conceptuel, mais également un outil pour l'analyse des situations. Car le choix d'un formalisme orienté, objet pour la représentation de ce système, lui confère des potentialités d'implémentation dans des logiciels SIG. Il est ainsi possible de reproduire et quantifier les interactions formulées dans le modèle conceptuel par l'utilisation de bases de données géographiques relationnelles et leur exploitation. Une perspective pour l'exploitation de ce modèle est sa mise en œuvre comme outil de repérage systématique des situations d'interactions spatiales récurrentes. Cela permettrait le développement d'un outil systémique d'analyse des potentialités de conflits, basé sur les cartographies d'usages.

1.2 L'exploration d'outils d'analyse et de représentation des conflits d'usages

Le deuxième résultat de ce travail porte sur la recherche d'outils pour l'analyse spatiale des conflits d'usages. Le but a été d'utiliser un panel important d'outils de modélisation spatiale pour définir leurs utilités et leurs limites.

1.2.a Différents outils, différents cas d'utilisation

La diversité des outils d'analyse et de représentation de l'espace a permis de tester ceux-ci dans des objectifs variés. Certains ont été mis en œuvre comme maillon dans la réflexion (cas des chorèmes et de la modélisation conceptuelle orientée objets). D'autres ont représenté des fins propres, servant lors de l'étude des problématiques spécifiques comme la structuration de SIG, l'algorithmie combinatoire et la modélisation individus-centrée.

On peut décrire les différents outils en analysant quelles ont été leurs fonctions dans ce travail :

- La modélisation conceptuelle a permis d'intégrer la typologie des conflits au sein d'un système. Cette représentation synthétise les archétypes d'interactions spatiales pouvant concourir à la genèse des conflits d'usages. Elle a été réalisée à l'échelle de la baie de Bourgneuf mais a été conçue comme a priori reproductible dans d'autres secteurs.

- La structuration de SIG permet de prolonger la modélisation conceptuelle par sa traduction en représentations cartographiques. En implémentant des bases de données relationnelles, on ajoute des paramètres de qualification et de quantification des interactions. L'exemple de l'analyse de la pression spatiale exercée par les mouillages forains en a donné un aperçu sur une thématique. Il est possible de complexifier cet outil par l'intégration de grilles de pondération des interactions ou encore de prendre en compte un nombre d'usages plus élevé. Ces outils présentent l'avantage d'être mobilisables à des échelles variables et pour satisfaire différents objectifs : analyse d'une situation en cours comme scénarisation prospective. La limite de la structuration de données à références spatiales est qu'elle ne permet que difficilement de rendre compte des dynamiques des usages dans le temps. Et c'est en ce sens, que l'utilisation d'algorithmes de combinaison spatio-temporelle d'objets est nécessaire. L'étude prospective pour l'implantation de zones conchylicoles en mer va dans ce sens.

- Le recours à la modélisation individus-centrée et aux simulations numériques montre la possibilité d'intégrer de manière effective le temps dans l'analyse des interactions spatiales générant des conflits. Elle est également adaptée à l'intégration des processus d'interactions Nature-Société. Dans le cas de la simulation du déroulement de l'activité ostréicole, cette composante Nature-Société est pleinement intégrée avec le fonctionnement d'une activité sous contrainte. L'expérimentation effectuée avec le modèle multi-agent PAPISCH retrace lui aussi les interactions entre usages et ressources, du point de vue spatial. Ces deux exemples montrent les possibilités de travailler avec le même type d'outils à des échelles d'analyse différentes du point de vue du temps et de l'espace.

L'objectif central de ce travail est l'explicitation des interactions productrices de conflits d'usages. Les cas d'utilisation des outils doivent donc être formulés au regard des objectifs des études à mener, en termes de représentations des interactions.

- Les outils pour la représentation graphique des interactions sont les modèles conceptuels. Ils permettent la formalisation de systèmes d'interactions et leur représentation normalisée. Ils sont orientés vers la mise en forme de concepts et la description des interactions entre objets.

- Les SIG structurés (bases relationnelles) permettent la représentation cartographique des interactions. Ils représentent la base de la quantification des relations spatiales entre objets et de la production de cartes de synthèse. Certains outils autorisent la prise en compte des variations temporelles des objets, venant compléter la quantification des interactions.

- Les modèles de simulations des interactions donnent la possibilité d'effectuer des scénarisations et de produire des représentations cartographiques de scénarii intégrant l'espace, le temps et les processus d'interactions (notamment entre usages et ressources).

1.2.b Des outils à chaîner

Ce travail permet également de mettre en évidence que l'utilisation d'une méthode n'en exclut pas une autre, bien au contraire. Il y a en effet des possibilités et des nécessités de chaînage. Celles-ci sont présentées dans la figure 88, illustrées par des exemples issus de ce travail. Ces liens assurent la cohérence sémantique entre la formalisation des interactions entre objets et leur représentation, leur quantification voire leur simulation.

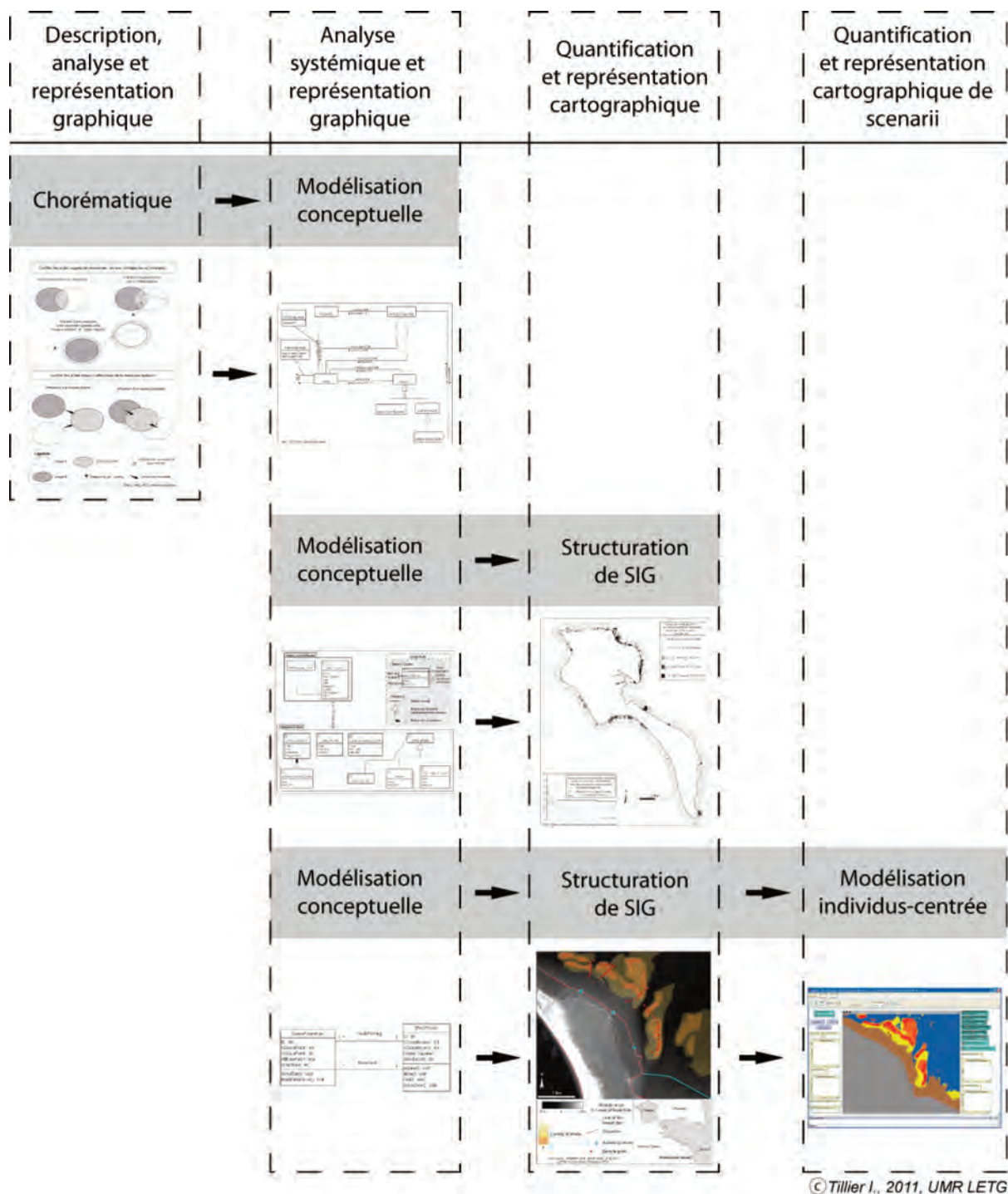


Figure 88 : Chaînages possibles entre outils et résultats attendus

Le premier lien logique peut se faire pour la phase de conception des interactions entre objets. Il concerne l'utilisation successive de chorèmes pour créer un modèle graphique des interactions, et de la modélisation conceptuelle orientée objets pour intégrer ces interactions dans une représentation systémique. Ces deux outils fournissent des supports de représentation graphique. Cette méthodologie a été validée dans notre travail par la formalisation des structures spatiales générant des conflits et par leur insertion dans un système spatial.

La deuxième chaîne possible a pour but la quantification et la représentation cartographique. Il s'agit de concevoir un système d'interactions par modélisation conceptuelle et de transcrire cette conception au sein d'un SIG. Cela permet de structurer l'information géographique manipulée et de mener à une quantification des interactions spatiales étudiées. L'analyse effectuée sur la pression spatiale exercée par les mouillages forains autour de l'île de Noirmoutier en donne un exemple.

La troisième méthodologie consiste à passer par la modélisation conceptuelle pour structurer à la fois un modèle de simulation mais aussi des données en entrée de celui-ci. Dans ce cas, la conception ne concerne plus seulement une structure mais également des processus d'interaction.

Pour conclure l'énoncé de ces résultats généraux et en s'appuyant sur celui-ci, il est possible de synthétiser la réponse faite à la problématique de ce travail en deux points :

- Le spatial apporte une plus-value considérable en aidant à l'explicitation de l'objet du conflit et de ses processus spatio-temporels de construction. La formalisation des objets et de leurs dynamiques, intégrée dans le concept de système spatial, crée un cadre théorique fiable pour mener des études spécifiques sur des problématiques détaillées. Ces études ont pour but de quantifier des effets de seuil cruciaux dans le processus de construction des conflits.

- Les outils pour l'analyse spatiale des conflits d'usages sont variés et permettent de développer des études générales sur un territoire, comme des études spécifiques sur une problématique. Ils peuvent et doivent être combinés suivant différents modes pour produire des analyses pertinentes et proposer des supports à la résolution ou à l'anticipation des conflits.

2 Limites et perspectives

2.1 Limites

Ce travail a été réalisé dans un cadre mixte entre recherche fondamentale et recherche appliquée. Cette démarche effectuée par le biais des collaborations avec des collectivités territoriales, des associations et des services de l'Etat est apparue extrêmement enrichissante. Cependant le temps de la Recherche n'est pas forcément celui de la gestion. De ce fait, un certain nombre de difficultés sont venues entraver ce travail. Des objectifs initialement visés n'ont pu être atteints. Au premier lieu, le test « grandeur réelle » de l'aide à la décision fournie par ce travail apparaît imparfait et ne permet pas de faire un retour global cohérent sur ce point. Certains travaux ont été remisés par les organismes demandeurs, comme cela a été le cas par exemple pour l'étude sur la relocalisation des mouillages autour de l'île de Noirmoutier, suite aux élections municipales de 2008. D'autres sont encore en cours, comme la scénarisation de l'impact du développement off-shore sur la durabilité de l'activité ostréicole en baie de Bourgneuf.

Mais, si les tests comparatifs d'outils d'explicitation des interactions spatiales réalisés par des acteurs sont parcellaires, la démarche en elle-même est apparue fédératrice. La menée d'investigations conjointes a permis de créer une information partagée par les différents acteurs intervenant sur une problématique. Cette information permet de créer un climat propice aux discussions pour l'aménagement de tel ou tel usage en vue de la résolution d'un conflit déclaré ou de l'anticipation d'un conflit potentiel.

Le second élément pouvant être perçu comme une limite aux résultats de ce travail est d'avoir développé l'analyse sur un espace unique, sans visée comparative. Ce peut être une source de distorsion dans le sens où d'autres types de conflits pourraient potentiellement exister ailleurs. Le choix d'étudier la baie de Bourgneuf a été motivé dans le Chapitre II. Ce territoire y est apparu comme un espace assez vaste et polyfonctionnel pour permettre d'extrapoler la conception d'un modèle de système spatial de production des conflits d'usages. De plus, la menée d'études détaillées n'aurait certainement pu être réalisée de manière aussi suivie (travail de terrain,

réunions avec les acteurs..) en travaillant sur différents terrains éloignés. Il reste néanmoins la nécessité de tester les concepts produits à partir des exemples en baie de Bourgneuf sur d'autres secteurs. Cela permettra de valider l'hypothèse que ce territoire est représentatif d'autres zones côtières, du point de vue des processus de production des conflits d'usages.

Le dernier point évoqué ici sur lequel ce travail apparaît limité est que le fait d'avoir travaillé sur différents cas d'études n'a pas permis de détailler individuellement de manière aussi précise qu'il aurait été nécessaire. Sur l'exemple du développement du modèle PAPISCH, l'insertion de processus plus quantifiés sur les prélèvements en coquillages aurait permis de déterminer l'impact de la pêche de loisir sur la ressource ou même d'approcher la définition de l'effort de pêche. Mais, les objectifs étaient de cerner avant tout l'impact spatial du comportement des pratiquants.

2.2 Perspectives

En lien avec ses limites, ce travail présente des perspectives qui se structurent en différents points :

- Afin de tester la robustesse du modèle conceptuel du système spatial de production des conflits d'usages, celui-ci pourrait être mis à l'épreuve sur d'autres types d'espaces. La comparaison avec des espaces ruraux est notamment une piste très intéressante à suivre.

- Dans ce même sens, la conception d'un outil permettant d'implémenter dans un logiciel SIG la structure complète du modèle conceptuel permettrait de généraliser l'analyse spatiale pour la recherche des interactions générant des conflits d'usages. Des travaux ont déjà été menés dans ce sens (Le Tixerant, 2004) mais n'intègrent pas les différents types de conflits formalisés dans ce travail.

- A l'échelle des cas d'études, différentes perspectives ont été évoquées. Les plus intéressantes semblent être en lien avec l'étude du comportement des pêcheurs à pied. Le modèle PAPISCH a mis en évidence l'intérêt de la simulation individus-centrée sur cette problématique. Compléter ce modèle par l'utilisation de données en entrée plus fine sur les gisements de coquillages et la quantification des interactions entre

ramassage et évolution de la ressource pourrait rendre cet outil beaucoup plus performant. Le contexte semble de plus être propice à la poursuite de recherche sur cette thématique car un réel questionnement sur l'impact de la pêche à pied de loisirs émerge dans différentes structures de recherche et de gestion (Programme GIPREOL³³ en cours sur l'île d'Oléron (Duvat & Mossot, 2009) ; lancement d'un programme national sur l'analyse de l'impact de la pêche à pied de loisir³⁴).

- Enfin, un point très important consiste à d'explorer les modalités permettant de faire vivre, dans les études, le lien entre acteurs et espace. En effet, que ce soit d'un point de vue conceptuel comme dans la mise en œuvre des démarches de Recherche-Action, la place des différents acteurs (y compris les scientifiques) reste en partie à baliser (Fougère et al., 2011). Ce constat en temps de fort développement des approches participatives, motive des réflexions et des expérimentations donnant déjà des résultats. Le travail du collectif ComMod présente une proposition de déontologie (ComMod, 2004 ; Etienne, 2010) et différents exemples de travaux produits (Etienne, 2003 ; D'Aquino & al., 2003 ; Gourmelon & al., 2008 ; Mathevet & al., 2008 ; Lagabrielle & al., 2010). La possibilité d'intégrer ce type de démarche et de tester par cette voie les modalités de lien entre acteurs dans les approches spatiales des conflits est une perspective très intéressante.

³³<http://gipreol.univ-lr.fr/>

³⁴Plus d'informations sur le site de l'association VivArmor, copilote du programme avec l'association IODDE (Ile d'Oléron Développement Durable Environnement) : <http://vivarmor.pagesperso-orange.fr>

- ADBVB** (Association pour le Développement du Bassin-Versant de la Baie de Bourgneuf), 2011, *Diagnostic global du bassin-versant – révision du SAGE de 2004*, Noirmoutier en l'Île, France, 128p, url : http://www.marais-breton-baie-bourgneuf.com/sage/iso_album/rapport-diagnostic-bv_04-20111.pdf
- Albritton R. & Stein T.V.**, 2011, Integrating social and natural resource information to improve planning for motorized recreation, *Applied Geography*, vol. 31, Elsevier, pp.85-97.
- Allen J.F.**, 1983, *Maintaining knowledge about temporal intervals*, Communications of the ACM, vol. 26/11, New York, USA, pp.832-843, <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=358434&dl=GUIDE&coll=GUIDE&CFID=78805688&CFTOKEN=13172820>
- Allen J.F.**, 1991, Time and time again : the many ways to represent time, *International Journal of Intelligent Systems*, vol. 6, Trier, Germany, pp. 341-355.
- Amblard F., Geller A., Neumann M., Srbljinovic A. & Wijermans N.**, 2010, Analyzing social conflict via computational social simulation : A review of approaches, In Martinás K, Matika D, & Srbljinovic A (Eds.), 2010, *Complex Societal Dynamics - Security Challenges and Opportunities*, IOS Press, Amsterdam, pp. 126-141.
- Argent R.M.**, 2003, An overview of model integration for environmental applications - components, frameworks and semantics, *Environmental Modelling & Software*, vol. 19, pp.219–234.
- Aschan C., Mathian H., Sanders L. & Mäkilä K.**, 2000. A spatial microsimulation of population dynamics in Southern France: a model integrating individual decisions and spatial constraints, In Ballot and Weisbuch (eds.), 2000, *Applications of Simulation to Social Sciences*, Hermes, Paris, pp. 109-125.
- AVEL** (Association vendéenne des élus du littoral et Vendée Nautisme), 1998, *Le livre bleu du nautisme en Vendée*, Saint Gilles Croix de Vie, Vendée, 209p.
- Avcı D., Adaman F. & Özkaynak B.**, 2010, Valuation languages in environmental conflicts : How stakeholders oppose or support gold mining at Mount Ida, Turkey, *Ecological Economics*, vol. 70, pp. 228-238.
- Barillé L., Héral M. & Barillé-Boyer A.L.**, 1997, Modélisation de l'écophysiologie de l'huître *Crassostrea gigas* dans un environnement estuarien, *Aquatic Living Resources*, vol. 10, pp. 31-48.
- Barillé L., Robin M., Harin N., Bargain A. & Launeau P.**, 2010, Increase in seagrass distribution at Bourgneuf Bay (France) detected by spatial remote sensing, *Aquatic Botany*, vol. 92/2010, pp. 185–194.
- Barli O., Baskent E.Z., Turker M.F. & Gedik T.**, 2006, Analytical approach for analyzing and providing solutions for the conflicts among forest stakeholders across Turkey, *Forest Policy and Economics*, vol. 9, pp. 219-236.
- Barnaud C., Trébuil G., Promburom P. & Bousquet F.**, 2008, La modélisation d'accompagnement pour une gestion concertée des ressources renouvelables en Thaïlande, *Economie rurale*, vol. 303-305, SFER, Paris, France, pp. 39-59.
- Barrow C.J.**, 2010, How is environmental conflict addressed by SIA?, *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 30, pp. 293–301.
- Bartlett D.**, 1999, Working on the frontier of Science : applying GIS to the Coastal Zone, In Wright F. & Bartlett D., 1999, *Marine and Coastal GIS*, Taylor & Francis, pp. 11-24.
- Bartlett D.J. & Smith J.** (Eds.), 2005, *GIS for Coastal Zone Management*, Taylor & Francis - CRC Press, London, 328p.
- Batty M.**, 2011, Modeling and Simulation in Geographic Information Science : Integrated Models and Grand Challenges, *Procedia Social and Behavioral Sciences*, vol. 21, pp. 10–17.
- Baud J.P. & Guillaudeau P.**, 2010, *Gestion globale des ressources marines et des risques dans les espaces côtiers (GERRICO)*, vol. n°1 : Rapport de synthèse et vol. n°2 : Fiches actions par axe, Rapport final du programme de recherche au Conseil Régional des Pays de Loire, Nantes, France, 78p.

Baudelle G. & Pinchemel P., 1986, De l'analyse systémique de l'espace au système spatial en géographie, pp.85-94, In Auriac F. et Brunet R. (Dir.), 1986, *Espaces, jeux et enjeux*, Nouvelle encyclopédie des sciences et techniques, Editions Fayard, Paris, France, 343p.

Bécu N., 2009, *Introduction à UML : aspects dynamiques*, Ecole thématique CNRS MAPS1 (Modélisation Appliquée aux Phénomènes Spatialisés), Oléron, France, <http://maps.csregistry.org/tiki-index.php>

Bédard Y., 1999, Visual Modelling of Spatial Databases : Towards Spatial PVL and UML, *Geomatica*, Vol. 53/2, Montréal, Canada, pp. 169-186.

Bédard Y. & Caron C., 1996, Adapting data models for the design of spatio-temporal databases, in Computer, *Environment and Urban Systems, an international journal*, vol. 1/1996, Boston, USA, pp. 19-41.

Bédard Y., Larrivée S., Proulx M.J. & Nadeau M., 2004, Modelling Geospatial Databases with Plug-Ins for Visual Languages : A Pragmatic Approach and the Impacts of 16 Years of Research and Experimentations on Perceptory, In Wang S. (Ed.), 2004, *COMOGIS Workshops ER2004*, USA, pp. 17–30.

Bernard N., 1993, *Ports de plaisance et structuration de l'espace littoral finistérien*, thèse de Doctorat en Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 274p.

Bernard N. & Bouvet Y., 2009, *Atlas du nautisme*, Jean Paul Gisserot Editions, France, 95p.

Beroutchavili N. & Rougerie G., 1991, *Géosystèmes et paysages, bilans et méthodes*, Armand Colin, Paris, 302p.

Bertrand G. & Beroutchavili N., 1968, Le géosystème ou système territorial naturel, *Revue de Géographie des Pyrénées et du Sud Ouest*, vol. 49/2, Presses Universitaires du Mirail, Toulouse, France, pp. 167-180.

Beurier J.-P. & Pouchus Y.-F. (Dir.), 2005, *Les conséquences du naufrage de l'Erika : risques, environnement, société, réhabilitation*, Presses Universitaires de Rennes, Rennes, France, 283p.

Billen R., Pantazis D. & Cornelis B., non daté, *Application of ER and CONGOO formalisms in a spatial database reengineering project*, document internet non paginé, url : http://web.geog.gla.ac.uk/online_papers/rbillen001.pdf

Blæsbjerg M., Pawlak J.F., Sørensen T.K. & Vestergaard O., 2009, *Marine Spatial Planning in the Nordic region - Principles, Perspectives and Opportunities*, report to the Nordic Council of Ministers, 98p.

Boese B.L., 2002, Effects of recreational clam harvesting on eelgrass (*Zostera marina*) and associated infaunal invertebrates : in situ manipulative experiments, *Aquatic botany*, vol. 73/2002, pp. 63-74.

Bolopion J., Forest A. & Sourd L. J., 2000, *Rapport sur l'exercice de la pêche dans la zone côtière de la France*, Rapport au Ministère de l'agriculture et de la pêche, Paris, France, 106p.

Bonin M., 2001, Nouvelles fonctions de l'agriculture et dynamiques des exploitations : une analyse chorématique dans les monts d'Ardèche, *Mappemonde*, vol. 2001/2, Montpellier, France, pp. 11-16.

Bonnefoy J.-L., Le Page C. & Bousquet F., 2000, Modelling spatial practices and social representations of space using multi-agents, In Ballot and Weisbuch (Eds.), 2000, *Application of simulation to social science*, Hermès, Paris, pp. 155-168.

Booch G., Rumbaugh J. & Jacobson I., 1998, *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison-Wesley, Massachusetts, USA, 482p.

Bouba-Olga O., Boutry O., Rivaud A. & Guimond B., 2008, *Analyse des conflits d'usage sur le littoral picto-charentais*, Etude par le CRIEF de l'Université de Poitiers pour la Direction Régionale de

l'Equipement de la région Poitou Charentes, cahier de synthèse, 83p.

Bouillé F., 1977, *Un modèle universel de banque de données simultanément portable et répartie*, Thèse d'Etat ès Sciences, spécialité Mathématiques mention Informatique, Université de Paris IV, Paris, France, 512p.

Bourgeon P.S., Humphries H.C & Riboli-Sasco L., 2009, Regional analysis of social-ecological systems, *Natures Sciences Sociétés*, vol. 17/2, pp. 185-193.

Bousquet F. & Le Page C., 2004, Multi-agent simulations and ecosystem management : a review, *Ecological Modelling*, vol.176, pp. 313-332.

Bousquet F. & Trébuil G., 2005, Training on multi-agent systems, social sciences, and integrated natural resource management : lessons from an Inter-University Project in Thailand, In Bousquet F., Trébuil G. & Hardy B. (Eds), 2005, *Companion modelling and multi agent systems for integrated natural resources management in asia*, International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines, 360p.

Boyes S., Elliott M., Thomson S., Atkins S., Gilliland P, Hamer J. & Hill A., 2005, *Multiple- use zoning in UK and Manx Waters of the Irish Sea: an interpretation of current legislation through the use of GIS-based zoning approaches*, Scottish Natural Heritage, url : <http://ioc3.unesco.org/marinesp/files/MultipleUseZoningIrishSea.pdf>

Brandmeyer J.E. & Karimi H.A., 2000, Coupling methodologies for environmental models, *Environmental Modelling & Software*, vol. 15, pp. 479-488.

Brewster L.F.S., 2002, *The development of a comprehensive littoral vulnerability assessment - Approach for a small island developing state : a case of study for Barbados*, In Eurocoast, 2003, Proceedings of Eurocoast 2002 / EUCC, Portugal, pp. 189-198.

Brimicombe A., (Ed.), 2003, *GIS, environmental modelling and engineering*, Taylor & Francis, 312p.

Brodeur, J., Bédard, Y. & Proulx, MJ., 2000, *Modelling Geospatial Application Database using UML-based Repositories Aligned with International Standards in Geomatics*, Proceedings of ACMGIS, Washington DC, USA, 19p.

Brody S.D., Highfield W., Arlikatti S., Bierling R.M., Lee L. & Butzler R., 2003, Conflict on the Coast : Using Geographic Information Systems to Map Potential Environmental Disputes in Matagorda Bay, Texas, *Environmental Management*, Vol. 34/1, pp. 11-25.

Bruckmeier K., 2011, Towards interdisciplinary rural research, theorizing Nature-Society interactions, *Natures Sciences Sociétés*, vol. 19/1, pp.3-13.

Brunet R., 1986, La carte modèle et les chorèmes, *Mappemonde*, n° spécial chorèmes et modèles, vol. 4/1986, Montpellier, France, pp. 2-6.

Brunet R., 2004, *Le développement des territoires : formes, lois, aménagement*, Editions de l'Aube, La Tour d'Aigues, France, 96p.

Brunet R., Ferras R. & Théry H. (Dir.), 1992, *Les mots de la Géographie, dictionnaire critique*, RECLUS, La documentation française, Collection Dynamique du territoire, Paris, France, 518p.

Burnet R., 2003, *Résultats du projet de recherche MurMur appliqués au risque avalanche*, Présentation faite au séminaire « Multi Echelles » du GDR SIGMA, axe « analyse spatiale », Avignon, France.

Burns G.L. & Howard P., 2003, When wildlife tourism goes wrong : a case study of stakeholder and management issues regarding Dingoes on Fraser Island, Australia, *Tourism Management*, vol. 24, pp. 699-712.

Cadore A., 2006, *Conflits d'usages liés à l'environnement et réseaux sociaux : Enjeux d'une gestion intégrée ? Le cas du littoral du Languedoc Roussillon*, Thèse de Doctorat en Géographie, Université Paul Valéry, Montpellier, France, 591p.

Cadoret A., 2009, Conflict dynamics in coastal zones : a perspective using the example of Languedoc-Roussillon (France), *Journal of Coastal Conservation*, special issue : planning and management, vol. 3/09, pp. 151-163.

Caldow R. W. G., McGrorty S., Stillman R. A., Goss-Custard J. D., Durell S. E. A. Le V. Dit., West A. D., Beadman H. A., Kaiser M. J., Mould K. & Wilson A., 2004, A behaviour-based modelling approach to reducing shorebird-shellfish conflicts, *Ecological Applications*, vol. 14, pp. 1411-1427.

Calvo-Mendietta I., 2005, *L'économie des ressources en eau : de l'internalisation des externalités à la gestion intégrée. L'exemple du bassin versant de l'Audomarois*, Thèse de doctorat en Sciences économiques, Université de Lille I, Lille, France, 345p.

CAMCAT (Catalan Authorities Marine and Coastal Activities), 2003, *Pla especial d'emergencies per contaminacio accidental de les aigues marines a cataluna*, 110 p.

Canning R., 2003, *The elements of marine spatial planning*, Proceedings of CoastNET Conference on spatial planning in the coastal and marine environment, Australia, url : <http://www.coastnet.org.uk/>

Caron A. & Torre A., 2006, Vers une analyse des dimensions négatives de la proximité. Les conflits d'usage et de voisinage dans les espaces naturels et ruraux, *Développement Durable et Territoires*, vol. 7, Paris, France, url : <http://developpementdurable.revues.org/index2641.html>

Caron C., 1991, *Nouveau formalisme de modélisation conceptuelle adapté aux SIRS*, Mémoire présenté pour l'obtention de du grade de Maître ès Sciences, Faculté de Foresterie et de Géomatique, Université de Laval, Québec, Canada, 124p.

Caron C., Bédart Y. & Gagnon P., 1993, MODUL-R : un formalisme individuel adapté pour les SIRS, *Revue internationale de Géomatique*, vol. 7/3-4, Lavoisier, Paris, pp. 283-306.

Carton L.J. & Thissen W.A.H., 2009, Emerging conflict in collaborative mapping : Towards a deeper understanding ?, *Journal of Environmental Management*, vol. 90, pp. 1991–2001.

Casanova L., 2009, *Les dynamiques du foncier à bâtir comme marqueurs du devenir des territoires de Provence intérieure, littorale et préalpine. Éléments de prospective spatiale pour l'action territoriale*, Thèse de Doctorat en Géographie, Université d'Avignon, France, 392p.

CASSINI, 1999, Représentation de l'espace et du temps dans les SIG, Numéro spécial de la *Revue internationale de géomatique*, issu des travaux du GDR CASSINI groupe Temps et Espace, Hermès Science Publications, Paris, France, 121p.

CCI Vendée, 2008. *L'hébergement touristique en Vendée : bilan de la saison 2007*, document interne, non publié, La Roche Sur Yon, Vendée, 42p.

Charles A. T., 1992, Fishery conflicts, a unified framework, *Marine Policy*, vol. 16/5, pp. 379-393.

Charlier B., 1999, *La défense de l'Environnement : entre espace et territoire, Géographie des conflits environnementaux déclenchés en France depuis 1974*, Thèse de doctorat en Géographie, Université de Pau et des pays de l'Adour, Pau, France, 753p.

Chen P., 1976, *The Entity-Relationship model, toward a unified view of data*, ACM Transactions On Database Systems, Vol. 11/1, New York, USA, 14p.

Chevriaux Y. & Vangenot C., 2005, Un système intégré pour l'interopérabilité entre SIG et acoustique sous marine : modélisation conceptuelle sous MADs, *Revue internationale de géomatique*, vol. 15/2, Hermès Science, Paris, France, pp. 223-257.

Cheyilan J.-P., 2007, Les processus spatio-temporels : quelques notions et concepts préalables à leur représentation, *Mappemonde*, vol. 2007/3, Montpellier, France, url : <http://mappemonde.mgm.fr/num15/articles/art07303.html>

- Cicin-Sain B. & Knecht R.W.**, 1998, *Integrated coastal and ocean management*, Washington, Island Press, 517p.
- Claramunt C., Coulondre S. & Libourel T.**, 1997, Autour des méthodes orientées objet pour la conception de SIG, *Revue internationale de géomatique*, n°3-4/97, Hermès science, Paris, France, pp. 233-257.
- Clark R.B.**, 2001, *Marine Pollution*, Fifth Edition, Oxford University Press, Oxford, 512p.
- Claval P.**, 1987, La science régionale : la théorie et les politiques, *Revue internationale de sciences sociales*, n°112, Erès Editions, Toulouse, France, pp. 170-218.
- CNC** (Comité National de la Conchyliculture), 2009, *La conchyliculture française*, Présentation de l'activité disponible sur le site du CNC, url : <http://www.cnc-france.com/>
- Cole D.** (Ed.), 2005, *Computer Simulation Modeling of Recreation Use : Current Status, Case Studies, and Future Directions*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 75p.
- ComMod** (Coll.), 2004, *Chartre : la modélisation comme outil d'accompagnement*, disponible en ligne, url : <http://cormas.cirad.fr/ComMod/pdf/ComModCharte2004.pdf>
- COREPEM** (COMité REgional des PEches Maritimes des Pays de Loire), 2006, *Compte-rendu de visite des gisements de coquillages de la baie de Bourgneuf du 23 Juin 2006*, Document interne du Comité Régional des Pêches et des Elevages Marins des Pays de Loire, Nantes, non publié, 4p.
- COREPEM** (COMité REgional des PEches Maritimes des Pays de Loire), 2008, *Rapport sur l'état de la pêche en Pays de Loire*, Les Sables d'Olonne, France, 107p.
- Corlay J.-P.**, 1986, A.T.P. Socio-économie du littoral « Baie de Bourgneuf », *Cahiers Nantais*, vol. 27, IGARUN, Nantes, France, 235p.
- Coser L.**, 1956, *The functions of social conflicts*, The Free Press, New York, USA, 188p.
- Couchoud M.**, 2005, *Essai de représentation graphique et cartographique des pressions et des conflits d'usage sur le littoral*, Rapport de stage à l'IFREMER/ENVLIT, MP2 GIZC, IGARUN, Nantes, France, 60p.
- Coux G. & Desse M.**, 1992, Iles tropicales et chorèmes, *Mappemonde*, n°3/92, pp. 43-46.
- Couper A. D.** (Ed.), 1983, *The time atlas of the ocean*, Times book, London, England, 272p.
- Cunha A.**, 1988, Système et territoire : valeurs, concepts et indicateurs pour un autre développement, *L'Espace Géographique*, vol. 3/1988, Paris, France, pp. 181-198.
- Cuq F., Devogele T. & Populus J.**, 2002, Systèmes d'information géographique côtiers, *Revue internationale de Géomatique*, vol. 12/3, pp. 35-68.
- Dalton T., Thompson R & Jin D.**, 2010, Mapping human dimensions in marine spatial planning and management : An example from Narragansett Bay, Rhode Island, *Marine Policy*, vol. 34, pp. 309-319.
- D'Aquino P., Barreteau O., Etienne M., Boissau S., Aubert S., Bousquet F., Le Page C. & Darré W.**, 2002, *The role playing games in an ABM participatory modelling process: outcomes from five experiments*, In Proceedings of the international Environmental Modelling and Software Society Conference, Lugano, Suisse, pp. 275-280.
- D'Aquino P., Le Page C., Bousquet F. & Bah A.**, 2003, Using self-designed role-playing games and a multi-agent system to empower a local decision-making process for land use management: The SelfCormas experiment in Senegal, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 6/3, url : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/3/5.html>

Darly S., 2009, *Faire coexister ville et agriculture au sein des territoires périurbains. Antagonismes localisés et dynamiques régionales de la conflictualité*, Thèse de Doctorat de l'EHESS, Paris, France, 457p.

Dauphiné A., 1979, *Espace, région et système*, Editions Economica, Paris, France, 167p.

Dauphiné A. & Provitolo D., 2007, La résilience : un concept pour la gestion des risques, *Annales de Géographie*, vol. 654, Armand Colin, Paris, France, pp. 115-125.

Debois E., 2003, *Interrogation de bases de données spatio-temporelles : Conception d'un outil de visualisation des réponses aux requêtes*, Mémoire d'Ingénieur civil en Informatique, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique, 66p., url : <http://code.ulb.ac.be/dbfiles/media172.pdf>

Defuand G. & Gilbert N. (Eds), 2011, *Understanding complex systems, Viability and Resilience of Complex Systems, Concepts, Methods and Case Studies from Ecology and Society*, Springer, 220p.

Delamarre A. & Malhomme M.C., 2002, *La prospective territoriale*, DATAR, La documentation française, Paris, 110p.

Deldreve V. & Crepel M., 2008, L'appropriation de l'espace côtier et de ses ressources, des conflits entre pêcheurs et autres usagers du littoral et de la mer, In Kirat T. & Torre A. (Dir), 2008, *Territoires de conflits, Analyses des mutations de l'occupation de l'espace*, L'Harmattan, Paris, France, 322p., pp. 107-124.

Depasse F., 2005, *Conception sous Eclipse d'un visualisateur de données spatio-temporelles*, Mémoire d'Ingénieur civil en Informatique, Université Libre de Bruxelles, Bruxelles, Belgique, 82p., url : <http://code.ulb.ac.be/dbfiles/media180.pdf>

De Rosnay J., 1975, *Le macroscope*, vers une vision globale, Edition Seuil, Collection Point, 295p.

Dias M.P., Peste F., G--ranadeiro J.P. & Palmeirin J.M., 2008, Does traditional shellfishing affect foraging by waders ? The case of the Tagus estuary (Portugal), *Acta Oecologica*, vol. 33, pp. 188-196.

Dionisi P., 1993, *L'essentiel sur MERISE*, Eyrolles Editions, Paris, France, 257p.

Di Méo G., 1991, *L'Homme, la Société, l'Espace*, Economica, Collection Anthropos, Paris, France, 319p.

Di Méo G., 1998, *Géographie sociale et Territoires*, Nathan Université, Collection Faculté Géographie, Paris, France, 317p.

Douvere F. & Ehler C., 2009, New perspectives on sea use management: initial findings from European experience with marine spatial planning, *Journal of Environmental Management*, vol. 3, pp.77-88.

Dronkers J. & Vries I., 1999. Integrated coastal management : the challenge of transdisciplinarity, *Journal of Coastal Conservation*, vol. 5, pp. 97-102.

Dubuc A. (Dir.), 2009, *The Beaufort sea integrated ocean management planning atlas*, Oceans programs, Fisheries and oceans Canada, 30p.

Duncan S.L. & Lach D.H., 2006, GIS technology in natural resources management : process as tool of change, *Cartographica*, vol. 41, pp. 201-215.

Dupilet D. (Coord.), 2000, *Le règlement des conflits d'usage dans la zone côtière entre pêche professionnelle et autres activités*, rapport à Monsieur le Premier Ministre de la République Française, 58 p.

Durell S. E. A. le V. dit, Stillman R. A., Triplet P., Aulert C., Ono dit Biot D., Bouchet A., Duhamel S., Mayot S. & Goss-Custard J. D., 2005, Modelling the efficacy of proposed mitigation areas for shorebirds: a case study on the Seine estuary, France, *Biological Conservation*, vol. 123, pp. 66-77.

Dussauze M., Sanchez M., Barillé L., Hitier B, Oger-Jeanneret H. & Robin M., 2009, *Modélisation*

de la turbidité en Baie de Bourgneuf (France), Proceedings of the Coastal and Maritime Mediterranean Conference, Hamamet, Maroc.

Duvat, V. & Mossot G., 2009, *Étude de la pêche à pied récréative sur les estrans rocheux de l'île d'Oléron : fréquentation, pratiques et potentiel de gestion intégrée*, Programme de recherche ANR SYSTERRA GIPREOL (2009-2011), partiellement disponible en ligne, url : <http://gipreol.univ-lr.fr/>

Dziedzicki J.-M., 2001, *Gestion des conflits d'aménagement de l'espace : quelle place pour les processus de concertation ?*, Thèse de Doctorat en aménagement de l'espace et urbanisme, Université de Tours - CESA, France, 443p.

Egenhofer M.J. & Herring, J.R., 1990, A Mathematical Framework for the Definition of Topological Relationships, In Brassel K. & Kishimoto H. (Eds.), 1990, *Proceedings of the 4th International Symposium on Spatial Data Handling*, International Geographical Union, Zürich, Germany, pp. 803-813.

Egenhofer M.J. & Golledge R.G., 1998, *Spatial and temporal reasoning in geographical information systems*, Oxford University Press, UK, 273p.

Elisalde B., 2004, *Le Territoire*, Définition dans l'Encyclopédie en ligne Hypergé, url : <http://www.hypergeo.eu/spip.php?article285>

ESRI, 2006, *Building a geodatabase*, GIS by ESRI, Redlands, USA, 460p.

Etienne M., 1990a, Superposition d'usages en forêt méditerranéenne soumise, *Mappemonde*, vol. 90/4, Maison de la Géographie, Montpellier, France, 2p.

Etienne M., 1990b, Utilisation d'un espace forestier par un troupeau : à chaque échelle spatio-temporelle son modèle, *Mappemonde*, vol. 90/4, maison de la Géographie, Montpellier, France, 2p.

Etienne M., 2003, SYLVOPAST: a multiple target role-playing game to assess negotiation processes in sylvopastoral management planning, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 6/2, Surrey, England, url : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/5.html>

Etienne M., 2008, *Co-construction d'un modèle d'accompagnement selon la méthode ARDI : guide méthodologique*, Document internet, url : <http://cormas.cirad.fr/pdf/guideARDI.pdf> , 76p.

Etienne M. (Coord.), 2010, *La modélisation d'accompagnement : Une démarche participative en appui au développement durable*, Editions Quae, Collection : Update Sciences & technologies, France, 340p.

Etkin D.S., 2001, *Analysis of oil spill trends in the United States and worldwide*, Proceedings of the International Oil Spill Conference, pp. 1291-1300.

Etkin D.S. & French-Mc Cay D.F., 2002, *Modeling of response, socioeconomic, and natural resource damage costs for hypothetical oil spill operations in San Francisco Bay*, Marine Oil Spill Program (AMOP), Technical seminar, 26p.

EEC (European Economic Community), 1992, Council Directive 92/43 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora, *EEC Official Journal*, vol. 206, Luxembourg, 7p.

Fattal P., 2006, *Sensibilité et vulnérabilité des côtes aux pollutions par hydrocarbures*, Habilitation à Diriger des Recherches, Université de Nantes, France, 480p.

Fattal P., Maanan M., Tillier I., Rollo N., Robin M. & Pottier P., 2010, Coastal vulnerability to oil spill pollution: the case of Noirmoutier island (France), *Journal of coastal research*, vol. 26/5, pp. 879-887.

Fauchard L. & Mocellin P., 2009, *Construire une démarche de prospective territoriale*, L'Harmattan, Paris, 146p.

Faugère E., Navarrete M., Charles M., Étienne M., Fauriel J., Lasseur J., Lécivain E., Napoléone E. & Paratte R., 2011, Des connaissances scientifiques en quête de connaissances d'acteurs, *Natures Sciences Sociétés*, vol. 18/4, pp. 395-403

Ferber J., 1995, *Les Systèmes Multi-Agents, vers une intelligence collective*, Inter Editions, Paris, France, 499p.

Ferrand N. & Deffuant G., 1999, *Aide à la gestion des conflits en aménagement du territoire*, Actes du colloque RNSC Interprétation des conflits et conflits d'interprétation, Rochebrune, France, url : http://www.wlisc.clermont.cemagref.fr/activite_recherche/projets/Projets_en_cours/MultiAgents/Papiers/RB99/Rb6-97.html .

Fitzpatrick S. & Bouchez B., 1998, Effects of recreational disturbance on the foraging behaviour of waders on a rocky beach, *Birds Study*, vol. 45, pp. 157-171.

FOC (Fisheries and Oceans Canada), 2007, *The Grand Banks of Newfoundland: Atlas of Human Activities*, Minister of Public Works and Government Services Canada, 143p.

Fock H.O., 2008, Fisheries in the context of marine spatial planning : Defining principal areas for fisheries in the German EEZ, *Marine Policy*, vol.3 2, pp. 728-739.

Freire, J., Fernández, L. & Ramón Muño, R., 2006. Role of the Spanish scientific community in the initial assessment and management of the environmental damages caused by the Prestige oil spill, *Marine Policy*, vol. 30, pp. 308-314.

Frémond A., 1976, *La région, espace vécu*, Presses Universitaires de France, Paris, France, 223p.

García-Barrios L.E., Speelman E.N. & Pimm M.S., 2008, An educational simulation tool for negotiating sustainable natural resource management strategies among stakeholders with conflicting interests, *Ecological Modeling*, vol. 210/1-2, pp. 115-126.

Gayte O., Cheylan JP., Libourel T. & Lardon S., 1997, *Conception de SI sur l'environnement*, Editions Hermès science, collection Géomatique, Paris, France, 289p.

Gimblett H.R., Durnota B. & Itami R.M., 1996, Spatially-Explicit Autonomous Agents for Modelling Recreation Use in Complex Wilderness Landscapes, *Complexity International Journal*, vol. 3, url : <http://journalci.csse.monash.edu.au/ci/vol03/gimetal3/gimetal3.html>

Gimblett H.R. & Itami R.M., 1997, *Modeling the Spatial Dynamics and Social Interaction of Human Recreationists' Using GIS and Intelligent Agents*, Proceedings of MODSIM 97 - International Congress on Modeling and Simulation, Hobart, Tasmania, url : <http://www.snr.arizona.edu/~gimblett/modsim97.html>

Gimblett H.R., Lynch J., Daniel T., Ribes L. & Oye G., 2003, Deriving artificial models of visitors from dispersed patterns of use in the Sierra Nevada Wilderness, California, *Journal of Nature Conservation*, vol. 11, pp. 287-296.

Gimblett H.C. & Skov-Petersen H. (Eds), 2008, *Monitoring, Simulation, and Management of Visitor Landscapes*, The University of Arizona Press, 468 p.

Glasl F., 1999, *Confronting conflict : a first aid kit for handling conflict*, Hawthorn, 186p.

Glize P. & Guisse S.N., 2009, *Approche zootechnique de l'élevage conchylicole au large en baie de Bourgneuf : essais préliminaires*, Rapport interne du SMIDAP, Nantes, France, 87p.

Goss-Custard J. D., Caldow R. W. G., Clarke R. T., Durell S. E. A. le V. dit & West A. D., 1995, Consequences of habitat loss and change in wintering birds: predicting the local and global effects from studies of individual, *Ibis*, vol. 137, pp. 56-66.

Goss-Custard J. D., Stillman R. A., West A. D., McGrorty S., Durell S. E. A. le V. dit & Caldow R. W. G., 2000, The role of behavioural models in predicting the ecological impact of harvesting, In Gosling L. M. & Sutherland W. J. (Eds), 2000, *Behaviour and conservation*, Cambridge University Press, Cambridge, 284p., pp. 65-82.

- Goss-Custard J. D., Triplet P., Sueur F. & West A. D.**, 2006, Critical thresholds of disturbance by people and raptors in foraging wading birds, *Biological Conservation*, vol. 127, pp. 88-97.
- Gouleau D.**, 1968, *Etude hydrologique et sédimentologique de la baie de Bourgneuf*, Thèse de 3ème cycle en Océanographie, Université de Caen, France, 365 p.
- Gourmelon F. & Robin M.** (Dir.), 2005, *SIG et littoral*, Hermès, Traité IGAT (Information Géographique et Aménagement du Territoire), Paris, 328 p.
- Gourmelon F., Etienne M., Rouan M., Kerbirou C., Charles M., Bioret F., Chlous-Ducharme F., Guermeur Y. & Levrel H.**, 2008, Éléments de prospective environnementale dans une réserve de biosphère, *Cybergeog : European Journal of Geography*, article 429, url : <http://cybergeog.revues.org/20343>
- Gourmelon F., Houet T., Voiron C. et Joliveau T.**, 2011, *La Géoprospective : apports de la dimension spatiale aux recherches prospectives ?*, Eléments de synthèse du séminaire géoprospective, Avignon, 4-5 Avril, 2p.
- Grimm V. & Railsback S.F.**, 2005, *Individual-based Modelling and Ecology*, Princeton University Press, Princeton, 234p.
- Grimm V., Berger U., Bastiansen F., Eliassen S., Ginot V., Giske J., Goss-Custard J., Grand T., Heinz S.K., Huse G., Huth A., Jepsen J.U., Jørgensen C., Mooij W.M., Müller B., Peer G., Piou C., Railsback S.F., Robbins A.M., Robbins M.M., Rossmann E., Rüger N., Strand E., Souissi S., Stillman R.A., Vabø R., Visser U. & DeAngelis A.L.**, 2006, A standard protocol for describing individual-based and agent-based models, *Ecological modelling*, vol. 198, pp. 115–126.
- Grimm V., Berger U.K., DeAngelis D.L., Polhill J.G. & Railsback S.F.**, 2010, The ODD protocol : A review and first update, *Ecological modelling*, vol. 221, pp. 2760-2768.
- Grimm V. & Railsback S.F.**, in press, *A Course in Individual and Agent-based Modeling Scientific Modeling with NetLogo*, Princeton University Press, draft chapters consultés sur l'url : <http://www.railsback-grimm-abm-book.com/index.html>
- Grossel H., Aujoulat V., L'Yavanc J. & Ratiskol G.**, 2001, *Etude sédimentaire de l'estran conchylicole en Baie de Bourgneuf*, Rapport de la convention FEDER-PESCA n° 98 R 448, IFREMER, ENVLIT, 158p.
- Guermont Y.** (Dir.), 1984, *Analyse de Système en Géographie*, Presses Universitaires de Lyon, Lyon, France, 315p.
- Guermont Y.** (Dir.), 2005, *Modélisations en Géographie, déterminismes et complexités*, Traité Information Géographique et Aménagement du territoire, Hermès Lavoisier Editions, Paris, France, 389p.
- Guillemot J., Plante S. & Boisjoly J.**, 2008, *Proximité et gouvernance : l'analyse du cas de l'Isle-aux-Grues (Québec)*, Actes du Colloque ASRDLF 2008, Atelier dynamique des acteurs dans les nouveaux modes de gouvernance pour gérer les conflits d'usages en zones littorales, UQAR, Rimouski, 25-27 Août 2008, url : <http://asrdlf2008.uqar.qc.ca/>
- Guineberteau T.** (Dir.), 2006, *Une approche géographique des conflits littoraux et maritimes*, Positionnement du laboratoire Géolittomer (UMR CNRS LETG – Université de Nantes) lors d'un séminaire interne de l'Observatoire Régional des Conflits Littoraux et Maritimes (ORECOLM), 18 Avril 2006, Nantes, URL de la présentation : http://geolittomer.univ-nantes.fr/Recherche/ORECOLM/Session_2006-1804_ConflitGeo.pdf
- Guineberteau T., Lamberts C. & Trouillet B.**, 2009, *Présentation d'un protocole d'analyse des conflits littoraux et maritimes : Appréhender les conflits pour une meilleure gestion du territoire*, Présentation faite au séminaire Développement durable, LEMNA-DCS, Nantes France.
- Gunderson L. H. & Holling C. S.** (Eds), 2002, *Panarchy : Understanding transformations in human and natural systems*, Island Press, Washington, USA, 450p.
- Gundlach E.R. & Hayes M.O.**, 1978, Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts, *Marine*

Technology Society Journal, vol. 12, pp. 18-27.

Hagmann T., 2005, Confronting the concept of environmentally-induced conflict, *Peace, Conflict & Development*, vol. 6, pp. 1-22.

Hanna, R.G.M., 1995, An approach to evaluate the application of the vulnerability index for oil spills in tropical Red Sea environments, *Spill Science & Technology Bulletin*, vol.2, pp. 171-186.

Hanson A., 1998, Sustainable development and the oceans, *Ocean & Coastal Management*, vol. 39, pp. 182-199.

Harris L.K., Gimblett H.R. & Shaw W.W., 1995, Multiple use management: a GIS model to understand conflicts between recreationists and sensitive wildlife, *Society Natural Resources*, vol. 8, pp. 559-572.

Haure J., Papin M., Dupuy B., Nourry M., Penisson C., Martin J.L., Barillé L., Dutertre M, Rosa P., Beninger P. & Barillé A.L., 2008, *Etude de la croissance et de l'effort de reproduction de Crassostrea Gigas en baie de Bourgneuf*, IFREMER-Université de Nantes-BioLittoral, Nantes, France, 96p.

Heinrichs B., Schultz-Zehden A. & Toben S., 2005, *The INTERREG III B BaltCoast Project : A pilot initiative on Integrated Coastal Zone Management in the Baltic Sea (2002 - 2005)*, EUCC, Coastal report, 82p.

Hitier B., Populus J., Oger-Jeanneret H. & Benyoucef I., 2010, Airbone LIDAR in support of coastal mapping and hydrodynamic modelling, In Maanan M. & Robin M., 2010, *Geomatic solutions for coastal environments*, Nova Science Publishers, New York, USA, pp.175-196.

Holling C. S., 2001, Understanding the complexity of economic, ecological and social systems, *Ecosystems*, vol. 4/2001, Springer, New York, USA, pp. 390-405.

Houdart M. & Bonin M., 2006, *Apports de la chorématique à la modélisation des évolutions des pratiques agricoles et de l'occupation du sol, exemple à partir d'un territoire martiniquais*, Actes du colloque Interaction Nature-Société, analyses et modèles, LETG UMR 6554, La Baule, France.

Houet T., 2006, *Occupation des sols et gestion de l'eau : modélisation prospective en paysage agricole fragmenté - Application au SAGE du Blavet*, Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Rennes 2, France, 368p.

IDON (Interdepartmental Directors' Consultative Committee North Sea), 2005, *The Integrated Management Plan for the North Sea (IMPNS)*, 166p., url : www.noordzeeloket.nl

IFREMER, 2011, *Atlas Loire-Bretagne de l'évaluation de la qualité des masses d'eau dans le cadre du programme de surveillance de la Directive Cadre sur l'Eau 2000/60/CE*, Atlas interactif en ligne, IFREMER-ENVLIT, url : http://envlit.ifremer.fr/var/envlit/storage/documents/atlas_DCE/scripts/site/carte.php?map=LB

INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques), 2011, *Dossiers « Chiffres clés » à l'échelle des communes* disponibles en ligne, Mis à jour Juin 2011, url : <http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/default.asp?page=statistiques-locales/chiffres-cles.htm>

ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation Limited), 2003, *Oil tanker spill statistics*, ITOPF report, London.

Irigoien X. & Castel J., 1997, Light limitation and distribution of chlorophyll pigments in a highly turbid estuary : the Gironde (SW France), *Estuarine, Coastal and Shelf science*, vol. 14, pp. 507-517.

Itami R.M., Gimblett H.R., Raulings R., Zanon D., MacLaren G., Hirst K. & Durnota B., 1999, *RBSim : Using GIS-Agent simulations of recreation behavior to evaluate management scenarios*, Proceedings of AURISA 99, Australasian & Regional Information Systems Association, url : <http://www.srn.arizona.edu/~gimblett/rbsim.html>

Itami R.M. & Gimblett H.R., 2001, Intelligent recreation agents in a virtual GIS world, *Complexity*

International Journal, vol. 8, <http://journal-ci.csse.monash.edu.au//ci/vol08/itami01/itami01.pdf>

Itami R.M., Raulings R., MacLaren G., Hirst K., Gimblett H.R., Zanon D. & Chladek P., 2003, RBSim 2: simulating the complex interactions between human movement and the outdoor recreation environment, *Journal of Nature Conservation*, vol. 11, pp.278-286.

Jay S., 2010, Planners to the rescue: spatial planning facilitating the development of offshore wind energy, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 60, pp. 493–499.

Jay S., Jones C., Slinn P. & Wood C., 2007, Environmental impact assessment: retrospect and prospect, *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 27/4, pp. 287-300.

Jeanneaux P. & Perrier-Cornet P., 2008, Les conflits d'usage du cadre de vie dans les espaces ruraux et la décision publique locale, éléments pour une analyse économique, *Economie rurale*, vol. 306, SFER, Paris, France, pp. 39-54.

Joerin F., Pelletier M., Trudelle C. & Villeneuve P., 2005, Analyse spatiale des conflits urbains, Enjeux et contextes dans la région de Québec, *Cahiers de Géographie du Québec*, Numéro thématique Conflits, Proximité, Coopération, Montréal, Canada, vol. 49/138, pp. 319-342.

Joost S. & Hertz O., non daté, *Conception de bases de données localisées et temporelles (COBALT), modélisation conceptuelle : un module de translation pour MapInfo*, 6p., url : http://cs.ulb.ac.be/mads_tools/madstomi.pdf

Kaiser, M.J. & Pulsipher, A.G., 2007, The impact of weather and ocean forecasting on hydrocarbon production and pollution management in the Gulf of Mexico, *Energy Policy*, vol. 35, pp. 966-983.

Kirat T. & Torre A., 2007, Quelques points de repères pour évaluer l'analyse des conflits dans les théories économiques, avec une emphase particulière sur la question spatiale, *Géographie, Economie, Société*, vol. 9/2, pp. 215-240.

Kirat T. & Torre A. (Dir.), 2008, *Territoires de conflits, Analyses des mutations de l'occupation de l'espace*, L'Harmattan, Paris, France, 322p.

Kösters G., Pagel B.U. & Six H.W., 1997, GIS-Applications development with GeoOOA, *International Journal of GIS*, vol. 11/4, pp. 307-335.

Labianca G., Brass D., & Gray B., 1998, Social Networks and Perceptions of Intergroup Conflict : The role of negative relationships and third parties, *Academy of Management Journal*, vol. 41/1, pp. 55-67.

Lacroix L., 2006, *La Baye de Bretagne, Histoire de la baie de Bourgneuf et de son littoral*, Collection histoire locale, Editions le livre d'histoire, Autremencourt, France, 476p.

Lagabrielle E., Botta A., Daré W., David D., Aubert S. & Fabricius C., 2010, Modelling with stakeholders to integrate biodiversity into land-use planning – Lessons learned in Réunion Island (Western Indian Ocean), *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, pp. 1413-1427.

Lagadeuc Y. & Chenorkian R., 2009, Les systèmes socio-écologiques : vers une approche spatiale et temporelle, *Nature Sciences Sociétés*, vol. 17/2, pp. 194-197.

Landret C. & Chambon P., 2009, Le développement durable, fédérateur d'une nouvelle ingénierie territoriale, *Revue d'Auvergne*, vol. 590-591, pp. 361-373.

Langlois P., 2005, Complexité et système spatiaux, In Guermond Y. (Coord.), 2005, *Modélisations en Géographie*, Hermès Science, Lavoisier, Paris, pp. 299-320.

Langran G., 1993, *Time in Geographic Information Systems, Technical Issue in GIS*, Taylor and Francis, London, 189 p.

Larousse, 2010, *Dictionnaire de la langue française*, 567p.

Laurans M., Berthou P., Leblond E. & Bégot E., 2008, *Estimation de l'effort de pêche de navires français dans 7 zones spéciales de conservation de la ZEE du Royaume Uni*, IFREMER, SIH, 31p.

Lbath A., 1999, *A Case Tool for Urban Application Based on Visual Design*, In Proceedings of the twenty-first Urban Data Management Symposium (UDMS'99), IV-7, Venice, Italy.

Lbath A. & Pinet F., 2000, *Automatic generation of geographic urban applications for the web with the CASE tool Aigle*, Proceedings of the 22nd Urban and regional data management symposium, Delft, Netherlands.

Lecourt A., 2003, *Les conflits d'aménagement : analyse théorique et pratique à partir du cas breton*, Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Haute Bretagne, Rennes, France, 355p.

Lecourt A. & Faburel G., 2008, Comprendre la place des territoires et leurs vécus dans les conflits d'aménagement, In Kirat T. et Torre A. (Dir.), 2008, *Territoires de conflits, Analyses des mutations de l'occupation de l'espace*, L'Harmattan, Paris, 322p.

Lemoigne J.-L., 1984, *La théorie du système général, théorie de la modélisation*, Presses Universitaires de France, Paris, France, 330p.

Lerouxel A., Barillé L., Rosa P. & Froidefond J.M., 2008, *Analyse de la distribution spatiale des la turbidité en baie de Bourgneuf et son impact sur les cultures ostréicoles*, Rapport au SMIDAP, Nantes, France, 61p.

Lesueur M., Drouot B., Boude J.-P., Daurès F., Guyader O., Talidec C., Lemestre S. & Péronnet I., 2003, *La pêche de loisir dans le Golfe du Morbihan*, Etude réalisée dans le cadre du diagnostic pour la mise en place du Schéma de Mise en Valeur de la Mer du Golfe du Morbihan, La Trinité sur Mer, France, 105p.

Le Berre I., 1999, *Mise au point de méthodes d'analyse et de représentations des interactions complexes en milieu littoral*, thèse de Doctorat en Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 228p.

Le Berre M., 1992, Territoires, In Bailly A., Ferras R. & Pumain D. (Dir.), *Encyclopédie de Géographie*, Economica, Paris, France, pp. 617-638.

Le Grel L. & Le Bihan V., 2009, Oyster farming and externalities: the experience of the bay of Bourgneuf, *Aquaculture Economics and Management*, vol. 13/2, pp. 112-123.

Le Guyader D., 2009, *Activités humaines en rade de Brest : éléments de méthode pour l'identification de conflits d'usage*, Communication au séminaire de restitution de l'Observatoire Régional des Conflits Littoraux et Maritimes (ORECOLM PRR), MSH Ange Guépin, 5-6 Novembre 2009, Nantes, France.

Le Tixerant M., 2004, *Dynamique des activités humaines en mer côtière. Application à la mer d'Iroise*, thèse de Doctorat en Géographie, Université de Bretagne Occidentale, Brest, France, 196p.

Le Tixerant M. & Gourmelon F., 2006, Approche dynamique du déroulement d'activités humaines en mer côtière, *Cybergeo : European Journal of Geography*, document 333, url : <http://cybergeo.revues.org/index2938.html>

Lévêque C., Muxart T., Abbadie L., Weill A. & Van Der Leuw S., 2003, L'anthroposystème : entité structurelle et fonctionnelle des interactions sociétés-milieus, In Lévêque C. et Van Der Leuw S. (Coord.), 2003, *Quelles natures voulons-nous ?*, Elsevier, 324p., pp. 110-129.

Lévy J. & Lussault M., 2003, *Dictionnaire de la Géographie et de l'espace des sociétés*, Belin, Paris, France, 1008p.

Lewicki, R., Gray B. & Elliott M. (Eds.), 2002, *Making Sense of Intractable Environmental Conflicts : Concepts and Cases*, Island Press, Washington, 357p.

Liu, X. & Wirtz, K.W., 2005, Sequential negotiation in multiagent systems for oil spill response decision-

making, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 50, pp. 469-474.

Longdill P.C., Healy T.R. & Black K.P., 2008, An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection, *Ocean & Coastal Management*, vol. 51, pp. 612-624.

Longhorn R.A., 2003, Coastal/Marine GI/GIS - A Pan European Perspective, *Coastal and Marine Geo-Information systems*, vol. 3/03, pp. 35-39.

Luquiau A., 1996, Le système d'endiguage de la baie de Bourgneuf au cœur de la bataille de l'eau, *Neptunus*, vol. 2-1/96, CDMO, Nantes, France, 9p.

Maanan M., Robin M. & Larroudé P., 2007, *Mise en évidence de l'envasement d'une baie par modélisation hydrosédimentaire : cas de la baie de Bourgneuf*, Poster au 11ème Congrès Français de Sédimentologie, Caen, France.

Madsen J., 1998, Experimental refuges for migratory waterfowl in Danish wetlands, Baseline assesment of the disturbance effects of recreational activities, *Journal of Applied Ecology*, vol. 35, pp. 386-397.

Maes F., Schrijvers J., Van Lancker V., Verfaillie E., Degraer S., Derous S., De Wachter B., Volckaert A., Vanhulle A., Vandenabeele P., Cliquet A., Douvere F., Lambrecht J. & Makgil, R., 2005, *Towards a spatial structure plan for sustainable management of the sea*, Research in the framework of the BELSPO Mixed Actions – SPSD II, 539 p.

Maggy P., Chapron V. & Ratiskol G., 1998, *Evaluation de la fréquentation des zones de pêche à pied récréative, durant les grandes marées de 1997*, Résultats des campagnes sur le littoral compris entre la baie du Mont Saint Michel et la pointe de Châtelailon, Rapport final à l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, Nantes, France, 113p.

Maguire B., Potts J. & Fletcher S., 2012 (in press), The role of stakeholders in the marine planning process – Stakeholder analysis within the Solent, United Kingdom, *Marine Policy*, vol. 36, pp. 246-257.

Manche Y., 2000, *Analyse spatiale et mise en place de systèmes d'information pour l'évaluation de la vulnérabilité des territoires de montagne face aux risques naturels*, thèse de Doctorat en Géographie, Université Joseph Fourier, Grenoble, France, 294p.

Manning R., Itami R.M., Cole D. & Gimblett H.R., 2005, Overview of Recreation Simulation Modeling Approaches and Methods, In Cole D. (Ed.), 2005, *Computer Simulation Modeling of Recreation Use : Current Status, Case Studies, and Future Directions*, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, pp. 11-15.

Mathevet R., Le Page, C., Etienne M., Poulin B., Lefebvre G., Cazin F. & Ruffray X., 2008, Des roselières et des hommes. ButorStar : un jeu de rôles pour l'aide à la gestion collective, *Revue Internationale de Géomatique*, vol. 18/3, pp. 375-395.

Mermet L., 1992. *Stratégies pour la gestion de l'environnement – La nature comme jeu de sociétés ?*, L'Harmattan, Paris, 205p.

Mermet L. (dir.), 2003, *Prospectives pour l'environnement. Quelles recherches, quelles ressources, quelles méthodes ?*, Collection Réponses environnement, La Documentation Française, 107p.

Michel C & Lardon S., 2001, L'accès aux espaces naturels : l'apport des chorèmes à la gestion des espaces naturels, *Mappemonde*, vol. 2001/2, Montpellier, France, 4p.

Mille D. & Blachier P., 2009, *Mutations dans le secteur conchylicole : Etat des lieux et perspectives de développement des productions en eau profonde à l'automne 2008*, CREAA, Rapport interne, 89p, url : <http://creaa.pagesperso-orange.fr>

Missaoui M., 2009, *Une approche Orientée Objet de géo-modélisation des données aquifères : Application au sein d'un Atelier de Génie Logiciel et intégration dans un Système d'Information Géographique*, Communication à la conférence GéoTunis 2009, Tunis, Tunisie.

Mitchell C. & Banks M., 1995, *Handbook of Conflict Resolution : The Analytical Problem Solving Approach*, Lavoisier, 208p.

Moe K.A., Skeie G.M., Brude O.W., Lovas S.M., Nedrebo M. & Weslawski J.M., 2000, The Svalbard Intertidal Zone : A Concept for the Use of GIS in Applied Oil Sensitivity, Vulnerability and Impact Analyses, *Spill Science and Technology Bulletin*, vol. 6, pp. 187–206.

Moine A., 2008, *Le territoire, comment observer un système complexe*, Collection Itinéraires Géographiques, Editions l'Harmattan, Paris, France, 176p.

Moison M., 2009, *Etude sur les potentialités de développement de techniques d'élevage conchylicole en eaux profondes dans la région des pays de la Loire*, Rapport de stage à la Section Régionale de la Conchyliculture des Pays de Loire, M2 GAEM, IGARUN, Nantes, 180p.

Möller B., 2011, Continuous spatial modelling to analyse planning and economic consequences of offshore wind energy, *Energy Policy*, vol. 39, pp. 511–517.

Morris S., Gimblett H.R. & Barnard K., 2005, Probabilistic Travel Modeling using GPS, In Zerger A. & Argent R.M. (Eds), 2005, *MODSIM 2005 International Congress on Modelling and Simulation*, Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, pp. 149-155.

Mottier V., 2001, *Processus métiers et composants logiciels pour la gestion intégrée des eaux en milieu urbain*, thèse de Doctorat en sciences et techniques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, Suisse, 218p.

Muller J.P., 2007, *Introduction to the concepts and methodology of conception in multi-agents systems : Static and dynamic UML*, CNRS Summer School : Agent Based Models for Spatial Systems in Social Sciences & Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents, La Londe Les Maures, France, url : <http://www.gemas.fr/dphan/laLonde/>

Muller J. P. (Dir.), 2008, *METISSE : Méthodes Et Théories pour une Ingénierie des Systèmes Socio-Environnementaux*, Document de synthèse de structuration du réseau scientifique issu de la réunion du 18 Avril 2008 au CIRAD de Montpellier, France, 8p.

Muller P.A. & Gaertner N., 2005, *Modélisation Objet avec UML*, Eyrolles Editions, Paris, France, 514p.

Mushove P. & Vogel C., 2005, Heads or tails ? Stakeholder analysis as a tool for conservation area management, *Global Environmental Change*, vol. 15, pp. 184-198.

Nansingh P. & Jurawan S., 1999, Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills, *Spill Science and Technology Bulletin*, vol. 5, pp. 171-172.

Nardin G., Le Berre I. & Brigand L., 2008. Un SIG pour connaitre et gérer la plaisance dans le Finistère, *Noréis*, vol. 206/1, RUOA, PUR, Rennes, pp. 53-72.

Navido J.G. & Masero J.A., 2008, Effects of traditional clam harvesting on the foraging ecology of migrating curlews (*Numenius arquata*), *Journal of experimental marine biology and ecology*, vol. 355/2008, pp. 59-65.

Neumann M., Braun A., Heinke E.M., Saqalli M. & Srblijinovic A., 2011, Challenges in Modelling Social Conflicts : Grappling with Polysemy, *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 14/3, url : <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/14/3/9.html>

NOAA (National Oceanic and atmospheric Agency), 2010, *Mapping Human Uses of the Ocean Informing Marine Spatial Planning Through Participatory GIS*, National Marine Protected Areas Center, USA, 12p.

NOO, 2004, *Australian's Northern Marine Atlas – Non-fisheries uses in Australia's marine jurisdiction*, Government of Australia, 98p., url : www.oceans.gov.au

Norden, 2009, *Marine spatial Planning in the Nordic region : Principles, Perspectives and Opportunities*,

98p., url : www.norden.org/publications

O'Sullivan A.J. & Jacques T.G., 1991, *Effects of oil in the marine environment : impact of hydrocarbons on fauna and flora*, Commission of the European Communities, 69 p.

Ouest France, 2008, *Elever des huîtres ou pêcher à pied : ça coince*, article paru le 24 Janvier 2008, Edition de Nantes.

Pantazis D., 2006, Modélisation conceptuelle, chapitre In Servigne S. & Libourel T. (Dir), 2006, *Fondements des bases de données spatiales*, Traité Information Géographique et Aménagement du territoire, Hermès Lavoisier Editions, Paris, France, 236p, pp. 37-73.

Pantazis D. & Donnay J-P., 1996, *La conception des SIG : méthode et formalisme*, Hermès science Editions, Paris, France, 343p.

Parent C., Claramunt C. & Rognon N., 1995, *Concepts pour un modèle conceptuel*, rapport interne, projet MADS, non publié, url : www.epfl.ch/e/publications/

Parent C., Spaccapietra S. & Zimanyi E., 1999, *Spatio-Temporal Conceptual Models : data structures, space, time*, Actes du Colloque Advance in GIS, Kansas City, USA, pp. 26-33.

Parent C., Spaccapietra S. & Zimanyi E., 2006, *Conceptual modeling for traditional and spatio-temporal applications, the MADS approach*, Springer Editions, Berlin, Germany, 465p.

Parker D.C., Manson S.M., Janssen M.A., Hoffmann M.J., & 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*, vol. 93/2, pp. 314-337.

Paticat F., 2007, *Flux et usages de l'eau de mer dans les marais salés endigués charentais : cas du marais salé endigué de l'île de Ré*, Thèse de Doctorat en Géographie, Université de Nantes, France, 384p.

Pedersen S.O., Fock H.O. & Sell A.F., 2009, Mapping fisheries in the German exclusive economic zone with special reference to offshore Natura 2000 sites, *Marine Policy*, vol. 33, pp. 571-590.

Pennanguer S., Beuret J.-E., Tartarin F. & Sabourin A., Se confronter pour construire ? Itinéraire d'un conflit en mer d'Iroise, In Kirat T. et Torre A. (Dir.), 2008, *Territoires de conflits, Analyses des mutations de l'occupation de l'espace*, L'Harmattan, Paris, France, 322p, pp. 227-251.

Peuziat I., 2002. *Étude la fréquentation nautique de plaisance dans les archipels de Glénan, Molène et Bréhat, État des lieux et perspectives de gestion*, Rapport APPIP-Géomer/UBO, Brest, 84 p.

Peuziat I., 2004, Plaisanciers en quête d'espaces naturels et de tranquillité : illusion ou réalité ? Le cas de l'archipel de Glénan (France), *Norois*, vol. 193, RUOA, PUR, Rennes, pp. 103-115.

Pfister C., Harrington B. A. & Lavine M., 1992, The impact of human disturbance on shorebirds at a migration staging area, *Biological Conservation*, vol. 60, pp. 115-126.

Pirot F. & Saint Gérard T., 2004, *Du concept HBDS à la geodatabase topologique : 25 ans les séparent*, Actes de la conférence ESRI SIG 2004, Paris, France.

Pomeroy R. & Douvère F., 2008, The engagement of stakeholders in the marine spatial planning process, *Marine Policy*, vol. 32, pp. 816- 822.

Popper K., 1981, *La quête inachevée*, Editions Agora, Paris, 350p.

Populus J. & Loubersac L., 2000, *CoastGIS'99 : Geomatics and coastal environment*, Actes du colloque CoastGIS'99, Brest 9-11 Septembre 1999, IFREMER-SHOM Editions, Brest, France, 318p.

Pornon H., 1993, Quelques réflexions sur la difficulté d'utiliser MERISE pour la modélisation de bases de données géographiques, *Revue internationale de géomatique*, vol. 3/93, pp. 255-263.

Pottier P., Chadenas C., Pouillaude A. & Struillou J.-F., 2009, *Evaluer la capacité d'accueil et de développement des territoires littoraux* – Dossier n°2, Rapport à la DREAL Pays de Loire, Nantes, 71p.

Pouliot J., Rognon N., Bédart Y. & Golay F., 1997, De la sélection à la mise en œuvre d'outils de conception pour les SIRS, *Revue internationale de géomatique*, vol. 7/3-4, Hermès Editions, Paris, France, pp. 259-277.

Préfecture du Morbihan, 2005, *Schéma de Mise en Valeur de la Mer du Golfe du Morbihan*, Rapport et annexes, Vannes, France, 91p.

Prelaz-Droux R., 1995, *Système d'information et Gestion du territoire : Approche systémique et procédure de réalisation*, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse, 156p.

Prinet A., 1999, *Cartographie des habitats et des biocénoses intertidales du site Natura 2000 : Baie de Bourgneuf, Ile de Noirmoutier et forêt de Monts*, Rapport et cartographie, LPO Vendée, la Roche sur Yon, France, 97p.

Raffestin C., 1986, Ecogenèse territoriale et territorialité, In R. Brunet & F.Auriac (Dir.), 1986, *Espaces, jeux et enjeux*, Editions Fayard, Paris, France, pp.173-183.

Railsback S.F., 2001, Concepts for complex adaptative systems as a framework for individual-based modeling, *Ecological modelling*, vol. 139/2001, pp. 47-62.

Rastogi A., Badola R., Hussain S.A. & Hickey G.M., 2010, Assessing the utility of stakeholder analysis to Protected Areas management : The case of Corbett National Park, India, *Biological Conservation*, vol. 143, pp. 2956–2964.

Ratiskol G., Hitier B., Oger-Jeanneret H. & L'Hévéder J., 2011, *Evaluation de la fréquentation des zones de pêche à pied récréative, durant les grandes marées de 2009*, Résultats des campagnes sur le littoral compris entre la baie du Mont Saint Michel et la pointe de Châtelailon, Rapport final à l'Agence de l'Eau Loire Bretagne, Nantes, France, 143p.

Ravnborga H.M. & Westermannb O., 2002, Understanding interdependencies : stakeholder identification and negotiation for collective natural resource management, *Agricultural Systems*, vol. 73, pp. 41–56.

Reed M.S., Graves A., Dandy N., Posthumus H., Hubacek K., Morris J., Prell C., Quinn C.H. & Stringer L.C., 2009, Who's in and why? A typology of stakeholder analysis methods for natural resource management, *Journal of Environmental Management*, vol. 90, pp. 1933-1949.

Roberts, J. & Crawford, D., 2004, *Developing a framework for assessing oil spill consequences : the application of oil spill sensitivity analysis in New Zealand*, Proceedings of the Spillcon conference, 16 p.

Roddick J.F., Hoel E., Egenhofer M.J., Papadias D. & Salzberg B., 2004, *Spatial, temporal and spatio-temporal databases - hot issues and directions for phd research*, Association for Computing Machinery SIGMOD Record, Paris, France, url : <http://www.sigmod.org/sigmod/conferences/index.html>

Rognon N. & Pouliot J., 1997, *Analyse comparative d'outils CASE*, rapport interne, projet MurMur, non publié, url : www.epfl.ch/e/publications/

Rouan M., Kerbiriou C., Levrel H. & Etienne M., 2008, A co-modelling process of social and natural dynamics on the isle of Ouessant: Sheep, turf, *Environmental Modelling & Software*, vol. 25/11, pp. 1399-1412.

Ruas A. (Dir.), 2002, *Généralisation et représentation multiple*, Traité Information Géographique et Aménagement du territoire, Hermès Lavoisier Editions, Paris, France, 390p.

Rutherford R.J., Herbert G.J. & Coffen-Smout S.S., 2005, Integrated ocean management and the collaborative planning process : the Eastern Scotian Shelf Integrated Management (ESSIM) Initiative, *Marine Policy*, vol. 29, pp. 75-83.

Saint Gérard T., 2002, Mémoire d'Habilitation à Diriger des Recherches, non publié, Université de Caen, France, 187p.

Saint Gérard T., 2005, Comprendre pour mesurer...ou mesurer pour comprendre ? HBDS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel, In Guermond Y. (Dir.), 2005, *Modélisations en Géographie, déterminismes et complexités*, Traité Information Géographique et Aménagement du territoire, Hermès Lavoisier Editions, Paris, France, 389p, pp 261-298.

Saint Martin K., 2008, Mapping Community Use of Fisheries Resources in the U.S. Northeast, *Journal of Maps*, vol. 3/08, pp. 111-120.

Sanchez M., 2008, *Dynamique des sédiments fins dans une zone côtière à forte turbidité à proximité de l'embouchure de la Loire*, Actes des Xèmes Journées Nationales Génie Côtier – Génie Civil, Sophia Antipolis, pp 169-178, url : http://www.paralia.fr/jngcgc/10_16_sanchez.pdf

Servigné S. & Libourel T. (Dir), 2006, *Fondements des bases de données spatiales*, Traité Information Géographique et Aménagement du territoire, Hermès Lavoisier Editions, Paris, France, 236p.

SGAR-PDL (Secrétariat Général aux Affaires Régionales / Pays De Loire), 2005, *Démarche expérimentale de Gestion Intégrée des Zones Côtières en baie de Bourgneuf*, document préparatoire au comité de pilotage du 4 Juillet 2005, document interne, non publié, Nantes, France, 163p.

SHOM (Service Hydrographique et Océanographique de la Marine), 1990, *Courants de marée de la côte sud de Bretagne de Penmarc'h à Noirmoutier*, Rapport du SHOM, Paris, 48 p.

Snodgrass R.T., 1992, Temporal Databases, In Campari I., Frank A. & Fromentini O. (Eds), 1992, *Theories and methods of spatio-temporal reasoning in geographic space*, Springer-Verlag, pp. 22-64.

Sonnec E., 2004. Le bassin de navigation : d'une pratique de loisir à la construction d'un territoire ?, *Norois*, vol.190/1, RUOA, PUR, Rennes, pp. 55-66.

Sotnykova, C. Vangenot & N. Cullot, 2005, *Spatio-temporal schema integration with validation : a practical approach*, In proceeding of the first International Workshop on Semantic-based Geographical Information Systems.

Stelzenmüller V., Rogers S.I., & Mills C.M., 2008, Spatio-temporal patterns of fishing pressure on UK marine landscapes, and their implications for spatial planning and management, *ICES Journal of Marine Science*, vol. 65, pp. 1081-1091.

Stillman R. A., West A. D., Goss-Custard J. D., Caldow R. W. G., McGrorty S., Durell S. E. A. Le V. dit, Yates M. G., Atkinson P. W., Clark N. A., Bell M. C., Dare P. J. & Mander M., 2003, An individual behaviour-based model can predict shorebird mortality using routinely collected shellfishery data, *Journal of Applied Ecology*, vol. 40, pp. 1090-1101.

Stimec A., 2007, *Conflits : comprendre et intervenir*, Présentation faite au séminaire annuel de l'Observatoire des CONflits Littoraux et Maritimes, CR Pays de Loire / Université de Nantes, le 12 Janvier 2007, Maison des Sciences de l'Homme Ange Guépin, Nantes, France, url : http://geolittomer.univ-nantes.fr/Recherche/ORECOLM/Seminaire1-ORECOLM-AStimec_12012007.pdf

Tillier I., 2007, *Interactions spatiales, risques et conflits en zones côtières : essai de formalisation à partir d'exemples en baie de Bourgneuf*, Colloque de restitution du programme fédératif « Territoires atlantiques : sociétés, temps, espaces » rattaché à la faculté de LLSHS, Université de Nantes, CPER 2000-2006, 3 Octobre 2007, Nantes, France.

Tillier I., 2010, Un Système d'Information Géographique pour la gestion des mouillages forains sur l'île de Noirmoutier, *Cahiers Nantais*, vol. 2/2010, IGARUN, Nantes, France.

Tillier I. & Robin M., 2008, *Réflexions sur les conflits d'usages en zones côtières : essai de formalisations spatiales à partir d'exemples en baie de Bourgneuf (Pays de la Loire, France)*, Actes du colloque international pluridisciplinaire : « Le littoral : Subir, Dire, Agir », Lille, France, url :

http://www.meshs.fr/documents/pdf/publications/actes/colloque_littoral/Tillier-Robin.pdf

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 en Géographie, UBO, Brest, France, 227 p.

Tissot C. & Cuq F., 2004, Apport des SIG pour la modélisation spatio-temporelle d'activités humaines, *Revue internationale de géomatique*, vol. 14/1, pp. 83-96.

Tissot C., Le Tixerant M., Gourmelon F. & Le Berre I., 2004, *Modeling interactions between human activities and costal zone environment*, Proceedings of the Littoral 2004 conference, Aberdeen, Scotland.

Tissot C., Le Tixerant M., Rouan M. & Cuq F., 2005, Modélisation spatio-temporelle d'activités humaines à fort impact environnemental, *Cybergeo : European Journal of Geography*, url : <http://cybergeo.revues.org/index3570.html>

Tissot C., Delahaye D. & Hubert-Moy L., 2008, Modélisation des interactions nature/société, *Revue internationale de Géomatique*, vol. 3/08, pp. 275-282.

Tissue, S., & Wilensky, U., 2004, *NetLogo : A simple environment for modeling complexity*, Paper presented at the International Conference on Complex Systems, Boston, 17p., url : <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/references.shtml#1999>

Tonini B. & Trouillet B., 2005, Les bassins de navigation : éléments d'une typologie, étude sur la façade atlantique à partir de la réglementation, In Bernard N. (dir.), 2005, *Le nautisme : Acteurs, pratiques et territoires*, PUR, 332p, pp. 29-44.

Torre A., Aznar O., Bonin M., Caron A., Chia E., Galman M., Guérin M., Jeanneaux P., Kirat T., Lefranc C., Melot R., Paoli J.C., Salazar M.I. & Thinon P., 2006, Conflits et tensions autour des usages de l'espace dans les territoires ruraux et périurbains. Le cas de six zones géographiques françaises, *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, CNRS, Bordeaux, France, vol. 3, pp. 415-453.

Torre A. & Zuindeau B., 2010, Les apports de l'économie de la proximité aux approches environnementales : inventaire et perspectives, *Natures Sciences Sociétés*, vol. 17/4, pp. 349-360.

Torre A., Melot R., Bossuet L., Cadoret A., Caron A., Darly S., Jeanneaux P., Kirat T. & Pham H. V., 2010, Comment évaluer et mesurer la conflictualité liée aux usages de l'espace ? Eléments de méthode et de repérage, *Vertigo*, la revue électronique en sciences de l'environnement, vol. 10/2010, 26 p., url : <http://vertigo.revues.org/9590>

Touzard H., 1977, *La médiation et la résolution des conflits*, PUF, Paris, France, 420p.

Triplet P., Bacquet S., Morand M. E. & Lahilaire L., 1998a, La distance d'envol, un indicateur de dérangements : l'exemple de quelques espèces d'oiseaux en milieu estuarien, *Alauda*, vol. 66, pp. 199-206.

Triplet P., Morand M. E., Bacquet S., Sueur F. & Fagot C., 1998b, Activités humaines et dérangements des oiseaux dans la réserve naturelle de la Baie de Somme, *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse*, vol. 235, pp. 9-15.

Triplet P. & Shricke V., 1998, Les facteurs de dérangements des oiseaux d'eau : synthèse bibliographique des études abordant ce thème en France, *Bulletin Mensuel de l'Office National de la Chasse*, vol. 235, pp. 20-27.

Trudelle C., 2003, Au-delà des mouvements sociaux : une typologie relationnelle des conflits urbains, *Cahiers de Géographie du Québec*, vol. 47/131, Montréal, Canada, pp. 223-242.

Tryfona N. & Jensen C.S., 1999, Conceptual data modeling for spatiotemporal applications, *Geoinformatica*, vol. 3/3, pp. 245-268.

Vallega A., 1991, The human geography of semi-enclosed seas : the Mediterranean case – a first

approach, In Smith H. D. & Vallega A., 1991, *The development of integrated sea-use management*, Routledge, NYC, 283p., pp. 238-259.

Vallega A., 1996, Integrated coastal area management in the framework of the Barcelona Convention : Tool or goal ?, In Belfiore S., Lucia M. G. & Pesaro E., 1996, *Regional sea towards sustainable development*, Milan, Italy, 361p., pp. 168-177.

Vallega A., 1999, *Fundamentals of integrated coastal management*, The GeoJournal Library, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 264p.

Vallega A., 2001, Focus on integrated coastal management - comparing perspectives, *Ocean & Coastal Management*, vol. 44, pp. 119-134.

Vanney J.R., 1977, *Géomorphologie de la marge continentale sud-armoricaine*, SEDES, Paris, 473p.

Vergier F., 1968, *Marais et Wadden du littoral français : Etude de Géomorphologie*, Bordeaux, Biscaye Frères, 548p.

Vieites, D.R., Nieto-Román, S., Palanca, A., Ferrer, X. & Vences, M., 2004, European Atlantic : the hottest oil spill hotspot worldwide, *Naturwissenschaften*, vol. 91, pp. 535-538.

Voiron C., Houet T. & Gourmelon F., 2011, *La géopropective en question*, Présentation introductive faite au séminaire géopropective, Avignon, 4-5 Avril, url : http://umrespace.unice.fr/public_html/geopropective/index.html

Walker B. H., Holling C. S., Carpenter S. R. & Kinzig A., 2004, Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems, *Ecology and society*, vol. 9/2, 9p, url : <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/print.pdf>

Weisbuch G., Deffuant G. & Amblard F., 2005, Persuasion dynamics, *Physica A*, vol. 353, pp. 555-575.

West A. D., Goss-Custard J. D., Stillman R. A., Caldow W. G., Durell S. E.A. le V. dit & McGrorty S., 2002, Predicting the impacts of disturbance on shorebirds mortality using a behaviour-based model, *Biological Conservation*, vol. 106, pp. 319-328.

Wieczorek A., Dias-Brito D. & Carvalho Milanelli J.C., 2007, Mapping oil spill environmental sensitivity in Cardoso Island State Park and surrounding areas, São Paulo, Brazil, *Ocean & Coastal Management*, vol. 50, pp. 872-886.

Wilensky U., & Rand W., in press, *An introduction to agent-based modelling : Modeling natural, social and engineered complex systems with NetLogo*, Cambridge, MIT Press, Draft chapters consulted on <http://ccl.northwestern.edu/papers/>

Wirtz K.W. & Liu X., 2006, Integrating economy, ecology and uncertainty in an oil-spill DSS : The Prestige accident in Spain, 2002, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 70, pp. 525-532.

Wright D.J. & Scholz A.J., 2005, *Place Matters : Geospatial Tools for Marine Science, Conservation, and Management in the Pacific Northwest*, Oregon State University Press, 343p.

Young O.R., Osherenko G., Ekstrom J., Crowder L.B., Ogden J., Wilson J.A., Day J.C., Douvère F., Ehler C.N., McLeod K.L., Halpern B.S. & Peach R., 2007, Solving the crisis in ocean governance: place-based management of marine ecosystems, *Environment*, vol. 49/4, pp. 20-32.

Figure 1 : Article paru dans Ouest France (Ouest France, 2008).....	8
Figure 2 : Trajectoire théorique d'un cycle adaptatif (Holling, 2001).....	13
Figure 3 : Méthodologie générale du travail.....	17
Figure 4 : Typologie des objets de conflits (Torre & al., 2010).....	23
Figure 5 : Densité de trafic maritime commercial (Trafic entrant, nombre de passagers par unité spatiale en 2000) (FOC, 2007).....	25
Figure 6 : Interactions spatiales entre trafic maritime et espèces marines protégées (NOO, 2004).....	26
Figure 7 : Matrice des relations entre usages en contexte méditerranéen (Vallega, 1991).....	28
Figure 8 : Grille d'impactssimplifiée pour les pollutions minérales et organiques (Couchoud, 2005).....	29
Figure 9 : Les conflits d'usages potentiels entre les activités agriculture et tourisme, dont l'origine est une pollution minérale ou organique, ou par micro-polluant toxique par commune sur le littoral des Côtes d'Armor (Couchoud, 2005).....	29
Figure 10 : Modèle graphique des conflits d'usages liés à l'environnement sur l'Etang de Salses-Leucate et sa façade maritime (Cadoret, 2006).....	31
Figure 11 : Cartographie des conflits d'usages potentiels pour l'implantation d'infrastructures de captage d'énergies marines renouvelables en mer d'Iroise (Le Tixerant, 2004).....	32
Figure 12 : modèle conceptuel du simulateur RBSim (Gimblett & Itami, 1997).....	34
Figure 13 : Exemple de résultats de Simulation de RBSim : cartographie des rencontres entre visiteurs dans le bassin de Humphrey, Californie (Gimblett & al., 2003).....	34
Figure 14 : Carte de localisation de la baie de Bourgneuf.....	38
Figure 15 : Topographie, bathymétrie et hydrographie de la baie de Bourgneuf.....	39
Figure 16 : Carte sédimentologique de la baie de Bourgneuf (Vanne, 1977).....	40
Figure 17 : Courantologie de la baie de Bourgneuf (Maanan & al., 2007).....	41
Figure 18 : Nature du trait de côte et morphologie côtière en baie de Bourgneuf.....	42
Figure 19 : Qualité sanitaire des sites de pêche à pied en 2008/2009 (Source : ADBVBB/IFREMER, 2011).....	44
Figure 20 : Zonages de protection et inventaires du patrimoine naturel en baie de Bourgneuf.....	45
Figure 21 : Données démographiques et structure de l'emploi dans les communes bordant la baie de Bourgneuf.....	46
Figure 22 : Occupation du sol.....	47
Figure 23 : Cartographie des concessions conchylicoles et des principaux sites de pêche à pied en baie de Bourgneuf.....	49
Figure 24 : Zonages réglementaires de pêche en baie de Bourgneuf.....	50

Figure 25 : Cartographie de l'activité de plaisance en baie de Bourgneuf.....	51
Figure 26 : Cartographie d'usages sur un secteur de l'île de Noirmoutier.....	55
Figure 27 : Secteur du port du Bonhomme, côte est de Noirmoutier (interactions entre mouillages forains et passages d'engins ostréicoles).....	56
Figure 28 : Secteur de la pointe du Fort Larron, côte est de Noirmoutier (interactions entre urbanisation et concessions conchyliques / pêche à pied via la qualité de l'eau).....	57
Figure 29 : Concentrations en Escherichia Coli.-Palourde (100g.)-1, c.l.i., sur le secteur de pointe du Fort Larron (IFREMER/REMY).....	57
Figure 30 : Formalismes HBDS et correspondances entre concepts géographiques, hypergraphiques, ensemblistes et relationnels (Saint Gérard, 2005).....	60
Figure 31 : Le formalisme graphique Entité - Relation.....	61
Figure 32 : Les principaux éléments du formalisme graphique UML.....	64
Figure 33 : Les différents diagrammes utilisés dans la méthode UML (Muller & Gaertner, 2005).....	65
Figure 34 : Exemple de diagramme d'activité en UML (Bécu, 2009).....	65
Figure 35 : Exemple de diagramme d'états-transitions en UML (Bécu, 2009).....	66
Figure 36 : Grandes problématiques génératrices de conflits d'usages recensées en baie de Bourgneuf.....	68
Figure 37 : Diagramme de classes typologique des ressources.....	69
Figure 38 : Diagramme de classes typologique des usages.....	70
Figure 39 : Une typologie des conflits d'usages combinant mise en jeu de ressources et relations topologiques entre usages.....	72
Figure 40 : Modèles graphiques des types de conflits d'usages.....	73
Figure 41 : Modèle conceptuel du système spatial de production de conflits d'usages.....	75
Figure 42 : Diagramme d'objets représentant un cas de conflit « simple », concurrence sur un même espace.....	76
Figure 43 : Diagramme d'objets représentant un cas de conflit lié à la dégradation d'une ressource partagée (avec ou sans disjonction spatiale entre usage « impactant » et usage « impacté »).....	76
Figure 44 : Diagramme d'objets représentant un cas de conflit lié à des enjeux d'affectation de la ressource spatiale (avec ou sans disjonction).....	77
Figure 45 : Les différents niveaux de modélisation de l'information géographique (D'après Pirot & Saint Gérard, 2004).....	82
Figure 46 : Typologie des géométries des objets géographiques (D'après Parent & al., 2006).....	83
Figure 47 : Interprétation des relations topologiques entre polygones (D'après Egenhoffer & Hering, 1990).....	84
Figure 48 : Typologie des temporalités objets géographiques (D'après Parent & al., 2006).....	85

Figure 49 : Typologie des interactions temporelles entre objets géographiques (D'après Cheylan, 2006).....	85
Figure 50 : Modèle conceptuel de base de données géographiques sur la thématique des risques d'avalanches développé dans le formalisme MADS (Burnet, 2003).....	89
Figure 51 : Modèle conceptuel de base de données géographiques sur la thématique des risques naturels en montagne développé par Manche (Manche, 2000).....	91
Figure 52 : Modèle conceptuel du système spatial de production des conflits d'usages réalisé avec l'AGL MADS.....	93
Figure 53 : Modèle conceptuel du système spatial de production des conflits d'usages réalisé avec l'AGL Perceptory.....	94
Figure 54 : : Présentation de la zone d'étude (Fattal & al., 2010).....	97
Figure 55 : Modèle conceptuel de la méthode d'évaluation de la vulnérabilité des côtes face aux pollutions par hydrocarbures (Fattal & al., 2010).....	98
Figure 56 : Segmentation de l'île de Noirmoutier en secteurs morpho-cardinaux (Fattal & al., 2010).....	99
Figure 57 et 58 : Modèle Conceptuel de Données implémenté (Fattal & al., 2010).....	101-102
Figure 59 : Cartes de synthèse des trois principaux indices de vulnérabilité (Fattal & al., 2010).....	103
Figure 60 : Carte de synthèse des indices de vulnérabilité (Fattal & al., 2010).....	104
Figure 61 : Exemple d'un secteur de mouillage forain vers le Vieil à Noirmoutier en l'île et structure d'un mouillage (Tillier, 2010).....	107
Figure 62 : Présentation de l'espace d'étude (Tillier, 2010).....	108
Figure 63 : Typologie des conflits d'usages liés à la présence des mouillages forains (Tillier, 2010).....	110
Figure 64 : Modèle Conceptuel de Données (MCD) utilisé dans le SIG (Tillier, 2010).....	111
Figure 65 : Densité de mouillages par hectare dans la bande des 500 mètres autour du trait de côte de l'île de Noirmoutier (Tillier, 2010).....	113
Figure 66 : Mouillages forains et baignade sur les secteurs des Sableaux (Tillier, 2010).....	115
Figure 67 : Déroulement du cycle d'élevage de l'huître creuse <i>Crassostrea gigas</i> (Tissot & al., 2011)...	125
Figure 68 : Intégration des agents du Module Aquaculture au sein de la plateforme DAHU (Tissot & al., 2011).....	127
Figure 69 : Schéma organisationnel du module aquaculture au sein de la plateforme DAHU (Tissot & al., 2011).....	129
Figure 70 : Typologie des entreprises ostréicoles de la baie de Bourgneuf (Le Grel & Le Bihan, 2009).....	131
Figure 71 : Description des trois groupes d'entreprises ostréicoles (Tissot & al., 2011).....	71
Figure 72 : Schéma des contraintes spatio-temporelles intégrées au modèle (Tissot & al., 2011).....	133

Figure 73 : Variabilité du poids sec de <i>Crassostrea gigas</i> sous contraintes d'environnement (Tissot & al., 2011).....	135
Figure 74 : Exemple de bilan de production à l'échelle des concessions et des entreprises ostréicoles (Tissot & al., 2011).....	136
Figure 75 : Cartographie des sites d'implantation potentielle en baie de Bourgneuf selon critères exclusifs (physiques, biologiques et humains) (Moison, 2009).....	140
Figure 76 : Structuration des données en entrée de l'algorithme.....	142
Figure 77 : Cartographie des degrés de conflits d'usages potentiels pour l'implantation de filières ostréicoles offshore en baie de Bourgneuf.....	144
Figure 78 : Cartographie des degrés de conflits d'usages potentiels pour l'implantation de cages ostréicoles offshore en baie de Bourgneuf.....	145
Figure 79 : Carte de localisation et présentation du secteur d'étude (Tillier & al., 2011).....	151
Figure 80 : Diagramme de classes simplifié du modèle PAPISCH (Tillier & al., 2011).....	153
Figure 81 : Diagramme d'activités des éléments du modèle PAPISCH (Tillier & al., 2011).....	155
Figure 82 : Visualisation de l'interface utilisateur du modèle PAPSICH (Tillier & al., 2011).....	160
Figure 83 : Diagramme d'activité détaillé de la méthode de recherche-déplacement-prélèvement appliquée aux agents (Tillier & al., 2011).....	163
Figure 84 : Analyse de la sensibilité des résultats suivant les variations des paramètres initiaux (Tillier & al., 2011).....	165
Figure 85 : Classement des paramètres par sensibilité (Tillier & al., 2011).....	166
Figure 86 : Comparaison de l'occupation spatiale en situation normale (à gauche) et en situation d'accès à l'estran restreints (à droite) (Tillier & al., 2011).....	169
Figure 87 : Cadre pour la formalisation des objets (usages et ressources).....	175
Figure 88 : Chaînages possibles entre outils et résultats attendus.....	179

Remerciements.....	1
Sommaire.....	4
Introduction.....	8
I.1 Eléments de définition.....	9
I.1.1 Les conflits d'usages.....	9
<i>I.1.1.a Usage.....</i>	<i>9</i>
<i>I.1.1.b Conflit.....</i>	<i>10</i>
<i>I.1.1.c Conflit d'usages.....</i>	<i>10</i>
I.1.2 Les conflits dans la dynamique des territoires et des interactions Nature-Société.....	11
<i>1.1.2.a Les approches systémiques des territoires et des interactions Nature-Société.....</i>	<i>11</i>
<i>1.1.2.b La fonction du conflit dans l'évolution des territoires et des interactions Nature -Société.....</i>	<i>12</i>
I.1.3 Le déroulement des conflits.....	13
I.2 Problématique et méthodologie générale	14
I.2.1 Une approche par l'espace.....	14
I.2.2 Problématique et hypothèses de recherche.....	16
I.2.3 Méthodologie générale.....	17
Chapitre I – Bibliographie des approches spatiales des conflits d'usages.....	20
I.1 L'identification des conflits via les entrées par les acteurs	20
I.2 L'observation des usages et des conflits par les approches cartographiques.....	24
I.3 La démarche explicative et la conceptualisation des situations de conflits d'usages.....	27

I.3.1 Les grilles d'interactions	27
I.3.2 Les approches par modélisation graphique.....	30
I.4 La modélisation dynamique des situations de conflits d'usages.....	31

Chapitre II – Présentation de l'espace d'étude : la baie de Bourgneuf – Pays de Loire, France.....36

III.1 Localisation.....	37
III.2 Le contexte environnemental.....	38
II.2.1 Elévation et Hydrologie.....	38
II.2.2 Sédimentologie et Hydrologie marine.....	40
II.2.3 Géomorphologie côtière.....	42
II.2.4 Qualité des eaux.....	43
II.2.5 Patrimoine naturel.....	44
II.3 Un espace polyfonctionnel.....	46
II.3.1 Démographie et structure de l'emploi.....	46
II.3.2 Occupation du sol.....	47
II.3.3 Conchyliculture et pêche à pied.....	48
II.3.4 La pêche en mer et la plaisance.....	50

Chapitre III – La formalisation de l'espace et des interactions spatiales.....54

III.1 La nécessaire formalisation d'un système spatial complexe...54	
III.1.1 Le constat d'une grande complexité spatiale.....	54
III.1.2 Définitions et objectifs de la modélisation conceptuelle.....	58
III.2 Les concepts et méthodes de modélisation conceptuelle.....	59

III.2.1 Différents formalismes	59
<i>III.2.1.a La méthode hypergraphique.....</i>	<i>59</i>
<i>III.2.1.b Le formalisme Entité-Relation.....</i>	<i>61</i>
III.2.2 Les méthodes Orientées Objets.....	62
<i>III.2.2.a Présentation.....</i>	<i>62</i>
<i>III.2.2.b Une convergence autour de l'Orienté Objet avec des adaptations spécifiques aux systèmes spatiaux.....</i>	<i>66</i>
III.3 Une application au système spatial de production des conflits d'usages en zone côtière.....	67
III.3.1 Analyse structurelle du système.....	68
<i>III.3.1.a Exemples de conflits issus de la baie de Bourgneuf.....</i>	<i>68</i>
<i>III.3.1.b Typologie des objets élémentaires du système.....</i>	<i>69</i>
III.3.2 Analyse des relations / interactions entre objets géographiques.....	71
<i>III.3.2.a La mise en jeu d'une ressource dans le conflit.....</i>	<i>71</i>
<i>III.3.2.b Des relations spatiales complexes.....</i>	<i>71</i>
<i>III.3.2.c Typologie des cas de conflits.....</i>	<i>71</i>
III.3.3 Formalisation du système spatial de production des conflits d'usages.....	74
<i>III.3.3.a Un modèle conceptuel du système d'interactions spatiales productrices de conflits d'usages.....</i>	<i>74</i>
<i>III.3.3.b Exemples à partir de l'espace d'étude.....</i>	<i>75</i>
Chapitre IV - De la formalisation à la représentation cartographique des objets et interactions spatiales.....	80
IV.1. Des Modèles Conceptuels aux Systèmes d'Information Géographique.....	81
IV.1.1 Aspects théoriques.....	81
<i>IV.1.1.a Les différents niveaux de modélisation de l'information spatiale...81</i>	<i>81</i>
<i>V.1.1.b Topologies et temporalités.....</i>	<i>82</i>

IV.1.2 Méthodes et outils.....	86
IV.1.2.a Revue des méthodes et outils.....	86
IV.1.2.b Comparaison et bilan.....	92
IV.2. Exemples d'applications SIG.....	94
IV.2.1 Base de données spatiales, système d'indicateurs et SIG pour l'évaluation de la vulnérabilité des côtes face aux pollutions par les hydrocarbures.....	95
IV.2.1.a Problématique et présentation de la zone d'étude.....	95
IV.2.1.b Méthodologie et mise en œuvre.....	98
IV.2.1.c Résultats et discussion.....	103
IV.2.2 Un SIG pour la gestion des mouillages autour de l'île de Noirmoutier.....	105
IV.2.2.a Une pression spatiale croissante des mouillages forains dans le contexte noirmoutrin.....	107
IV.2.2.b Acquisition et structuration de données spatiales.....	110
IV.2.2.c Résultats et perspectives d'utilisation dans le cadre de scènes de gestion.....	112
IV.2.2.d Conclusion.....	116
IV.3 Les apports et les limites des approches cartographiques statiques pour la compréhension des conflits d'usages en zone côtière.....	117
IV.3.1 Les apports.....	117
IV.3.1.a Une démarche conceptuelle intrinsèquement productrice de connaissance.....	117
IV.3.1.b Un chaînage méthodologique porteur de cohérence.....	118
IV.3.2 Limites : une prospective assez limitée.....	119
IV.3.2.a Une continuité sémantique partielle entre conception et réalisation.....	119
IV.3.2.b Des propriétés spatio-temporelles d'objets difficiles à gérer dans des SIG.....	120

Chapitre V – Du statique au dynamique : la prise en compte du temps dans l’analyse des relations entre usages et des interactions Nature-Société.....	122
V.1 La plateforme DAHu (Dynamique des Activités Humaines), présentation et utilisation pour la simulation du déroulement de l’activité ostréicole en baie de Bourgneuf.....	123
V.1.1 Présentation de la plate-forme DAHu – module Aquaculture.....	124
V.1.1.a Principes de modélisation associés au Module Aquaculture.....	124
V.1.1.b Formalisation des agents.....	126
V.1.1.c Structuration de la plateforme.....	128
V.1.2 Déclinaison d’un prototype en Baie de Bourgneuf.....	131
V.1.2.a Structuration des agents de production.....	131
V.1.2.b Formalisation des contraintes d’environnement.....	133
V.1.2.c Résultats de la simulation de la croissance des huîtres sous contraintes d’environnement.....	134
V.2 Analyse prospective sur la relocalisation de l’activité ostréicole en eau profonde.....	138
V.2.1 Contexte professionnel et technique.....	138
V.2.1.a L’ostréiculture offshore, techniques et tests en baie de Bourgneuf.....	138
V.2.1.b Des contraintes environnementales et humaines fortes.....	139
V.2.2 Méthodologie d’extraction des zones de moindres conflits d’usages potentiels.....	141
V.2.2.a Définition des contraintes.....	141
V.2.2.b Présentation de l’algorithme.....	142

V.2.3 Résultats.....	143
V.2.3.a Les zones propices.....	143
V.2.3.b Un outil pour l'analyse spatiotemporelle des conflits d'usages.....	146

Chapitre VI – La simulation micro-spatiale pour l'aide à l'explicitation des situations de conflits d'usages.....148

VI.1 Problématique et présentation de l'espace d'étude.....	149
VI.1.1 Thématique et problématique générale.....	149
VI.1.2 Présentation de l'espace d'étude.....	150
VI.2 Méthodologie et description du modèle.....	152
VI.2.1 Objectifs.....	152
VI.2.2 Entités, variables d'états et échelles d'analyse.....	153
VI.2.3 Processus, opérations et choix logiciel.....	154
VI.2.4 Conception.....	155
VI.2.4.a Principes de base.....	156
VI.2.4.b Emergence.....	156
VI.2.4.c Adaptation.....	157
VI.2.4.d Objectifs.....	157
VI.2.4.e Apprentissage.....	157
VI.2.4.f Prospective.....	157
VI.2.4.g Perception.....	158
VI.2.4.h Interaction.....	158
VI.2.4.i Stochasticité.....	158
VI.2.4.j Groupes.....	158
VI.2.4.k Observation.....	159
VI.2.5 Initialisation.....	159
VI.2.6 Données en entrées.....	161

VI.2.7 Sous-modèles.....	162
VI.3. Résultats.....	164
VI.3.1 Résultats préliminaires, calibration et analyse du comportement du modèle.....	164
<i>VI.3.1.a Résultats préliminaires et calibration du modèle.....</i>	<i>164</i>
<i>VI.3.1.b Analyse de l'espace des paramètres et de leur sensibilité.....</i>	<i>165</i>
VI.3.2 Scenarii d'évolution.....	167
<i>VI.3.2.a Evolution du nombre de pêcheurs au départ du polder.....</i>	<i>167</i>
<i>VI.3.2.b Evolution des profils de pêcheurs.....</i>	<i>167</i>
<i>VI.3.2.c Evolution des accès à l'estran pour l'aménagement d'un refuge ornithologique.....</i>	<i>168</i>
VI.4 Discussion.....	169
VI.4.1 Un modèle centré sur le comportement des pêcheurs	170
VI.4.2 Une base à articuler avec d'autres éléments.....	170
VI.4.3 Une limite importante : la simplification de la cartographie des gisements.....	171
VI.5 Conclusion.....	172
 Conclusion – L'approche spatiale des conflits d'usages, bilan et perspectives.....	 174
1 Synthèse des résultats.....	174
1.1 La proposition d'un cadre conceptuel pour l'analyse spatiale des conflits d'usages.....	174
<i>1.1.a La formalisation spatio-temporelle des objets (usages et ressources).....</i>	<i>174</i>
<i>1.1.b Une grille d'analyse de la genèse des conflits.....</i>	<i>175</i>
1.2 L'exploration d'outils d'analyse et de représentation des conflits d'usages.....	176
<i>1.2.a Différents outils, différents cas d'utilisation.....</i>	<i>176</i>

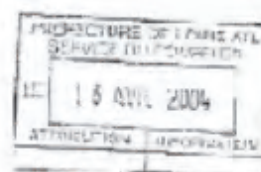
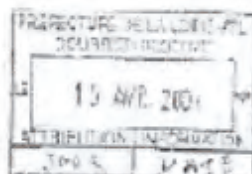
1.2.b Des outils à chaîner.....	178
2 Limites et perspectives.....	181
2.1 Limites	181
2.2 Perspectives.....	182
 Bibliographie.....	 186
Tables.....	206
Annexes.....	Non paginées

Lettre de mission adressée au préfet et co-signée des six ministres

2004 04 15 12 00 12 00 12 00 12 00 12 00

DEC PARTEN

2004



Ministère de
l'Ecologie et de
Développement
Durable

Ministère de
l'Intérieur, de la
Sécurité intérieure
et des Affaires
locales

Ministère de
l'Équipement,
des Transports,
du Logement, du
Tourisme et de la
Mer

Ministère de
l'Agriculture, de
l'Élevage, de la
Pêche et des
Affaires rurales

Ministère de la
Fonction
Publique, de la
Réforme de l'État
et de
l'Aménagement
du territoire

Syndicat d'États
des Français et
de la Mer

30 MARS 2004

Le Ministre de l'écologie et du développement durable
Le Ministre délégué aux Littorales littorales
Le Ministre de l'équipement, des transports, du
logement, du tourisme et de la mer
Le Ministre de l'agriculture, de l'élevage, de la
pêche et des affaires rurales
Le Ministre de la fonction publique, de la réforme de
l'État et de l'aménagement du territoire
Le Syndicat d'États des Français et de la mer

3

Monsieur le Préfet de la région des Pays de la Loire

Objet : Opération pilote de GIZC en baie de Bourgneuf

Le Gouvernement a lancé un appel à candidature lors du comité interministériel de la mer du 19 avril 2003 pour la mise en place d'opérations pilotes régionales, susceptibles de s'appuyer sur des déclinaisons locales et de produire des références concrètes pour l'élaboration d'une stratégie nationale de gestion intégrée des zones côtières.

Ces opérations pilotes doivent s'inscrire dans le cadre des engagements communautaires ou internationaux pris par la France, qui s'expriment par la stratégie nationale de développement durable adoptée le 3 juin 2003, la mise en œuvre de la directive cadre sur l'eau et la stratégie nationale pour la biodiversité en cours d'élaboration.

Le comité interministériel d'aménagement du territoire du 3 septembre 2003 a décidé le lancement d'une opération pilote de mise en œuvre et d'intégration des enjeux environnementaux sur le secteur du marais breton, baie de Bourgneuf, île de Noirmoutier et forêt de Monts.

10/10/04 LUN 09:14 FAX 02 40 43 23 06

SEC. PREFET

0012

Ce territoire présente une qualité environnementale majeure, d'intérêt national, et même communautaire. La gestion de la biodiversité et des milieux naturels, la gestion de l'eau, la gestion du trait de côte dans un contexte d'érosion côtière, la qualité des eaux littorales, sont les supports fondamentaux d'un développement économique durable qui repose sur la qualité des ressources naturelles et sur le fonctionnement des écosystèmes, qu'il s'agisse de culture marine, de pêche côtière, d'agriculture ou de tourisme littoral sans oublier la dimension culturelle bien présente.

Les démarches conduites depuis plusieurs années permettent de disposer d'un diagnostic étoffé :

- un projet de schéma de mise en valeur de la mer pour la baie de Bourgneuf,
- un projet de SAGE en cours d'approbation,
- un projet de contrat de baie,
- un document d'objectifs opérationnel au titre de l'application de la directive européenne « habitats »,
- un document d'objectifs en cours de préparation au titre de l'application de la directive européenne « oiseaux ».

L'association pour le développement du bassin versant de la baie de Bourgneuf (APLBVB) présidée par Monsieur le sénateur Jacques OUDIN, a été la cheville ouvrière de l'ensemble de ces démarches.

Il vous appartient de mettre en place, sur le territoire défini par le CIATF du 3 septembre 2003, un schéma spécifique de gouvernance locale susceptible de déboucher sur un projet de territoire conforme au regard des orientations nationales évoquées plus haut.

Cette expérimentation devrait contribuer à la réflexion stratégique régionale pour le littoral et vous permettre de proposer des préconisations pour la stratégie nationale, notamment en termes d'amélioration des outils réglementaires.

L'approche intégrée de gestion suppose une démarche unique pour les parties terrestre et maritime qui prenne en compte toutes les fonctions, les activités sociétales et l'ensemble des politiques locales et qui mette en place un mécanisme efficace de résolution des conflits. Elle comprend les phases suivantes :

- définir précisément le périmètre de réflexion qui pourra pénétrer plus ou moins profondément à terre ou en mer en justifiant les options prises au travers des problématiques identifiées et des objectifs poursuivis,
- élaborer, dans un esprit de développement durable, un schéma d'aménagement comprenant en particulier un état des lieux, l'identification des enjeux, la définition d'orientations et des perspectives d'aménagement et de gestion,
- décliner ce schéma en projet de contrat avec des actions à caractère opérationnel, s'appuyant sur des outils financiers effectivement applicables au territoire concerné,
- définir et mettre en place une démarche d'évaluation en continu.

Cette démarche sera pilotée et suivie par un comité territorial que vous mettrez en place en liaison avec le président du conseil régional en veillant à assurer une juste représentation de tous les acteurs concernés, notamment les préfets maritime et de département, les conseils généraux de Loire Atlantique et de Vendée, et les porteurs d'opérations locales. Les représentants de l'Etat seront désignés d'un commun accord entre vous-même, le préfet de la Vendée et le préfet maritime.

19/03 04 LUN 08:05 FAX 02 40 41 23 00

SEC. PREFET

Q105

Pour assurer l'accompagnement et le suivi de l'ensemble des opérations pilotes retenues, un comité national sera mis en place courant 2004. Le DAIAR en sera le chef de file. Le MEDD, le secrétariat général de la mer, le METLTM dans toutes ses composantes, le Ministère de l'Outre-Mer, le Ministère de l'intérieur de la sécurité intérieure et des libertés locales et le MAAPAR en feront également partie.

Compte tenu du caractère novateur et expérimental de la démarche, une mission conjointe de l'IGE, du CGPC, de l'IGA et du COGREF sera constituée en soutien. Son appui pourra porter en particulier sur les approches prospectives, sur l'évaluation, et sur les apports à la stratégie nationale (mode de gouvernance, outils...).

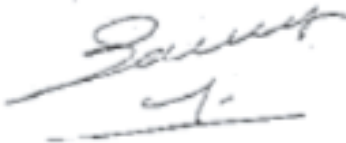
Vous vous attacherez à tenir régulièrement informé le comité national du déroulement de la démarche territoriale, et à lui transmettre tous les éléments susceptibles de contribuer à l'élaboration de la stratégie nationale.

Vous nous transmettez un rapport intermédiaire à l'issue d'une première période de six mois, et votre rapport d'ensemble pour la fin de l'année 2004.

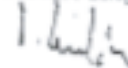
Les besoins financiers pour mener à bien cette expérimentation devront, au moins dans un premier temps, être couverts par l'enveloppe territoriale du FNADT de la région Pays de la Loire.

Le Ministre de l'Ecologie et du Développement Durable

Rosaline DACHELOT-NARQUIN



Le Ministre délégué aux Libertés Locales


Patrick DEVEDJIAN

Le Ministre de l'Équipement, des Transports,
du Logement, du Tourisme et de la Mer


GILLES A. ROTHEN

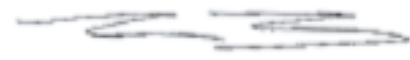
Le Ministre de l'Agriculture, de l'Alimentation,
de la Pêche et des Affaires Rurales


Hervé GAYMARD

Le Ministre de la Fonction Publique,
de la Réforme de l'État et de l'Aménagement du Territoire


JEAN-FRANÇOIS DELEVOYE

Le Secrétaire d'État aux Transports et à la Mer


Dominique DUQUERROU

Synthèse des observations de terrain de l'activité de pêche à pied de loisirs sur le secteur du Gois / Sébastopol à Noirmoutier

Les grands estrans à sédiments meubles de la côte Est de l'île de Noirmoutier sont des sites particulièrement intéressants pour l'étude la pêche à pied de loisir. En effet, il s'agit de secteurs très prisés du fait de gisements importants de palourdes et de l'accessibilité élevée de l'estran (figure I).

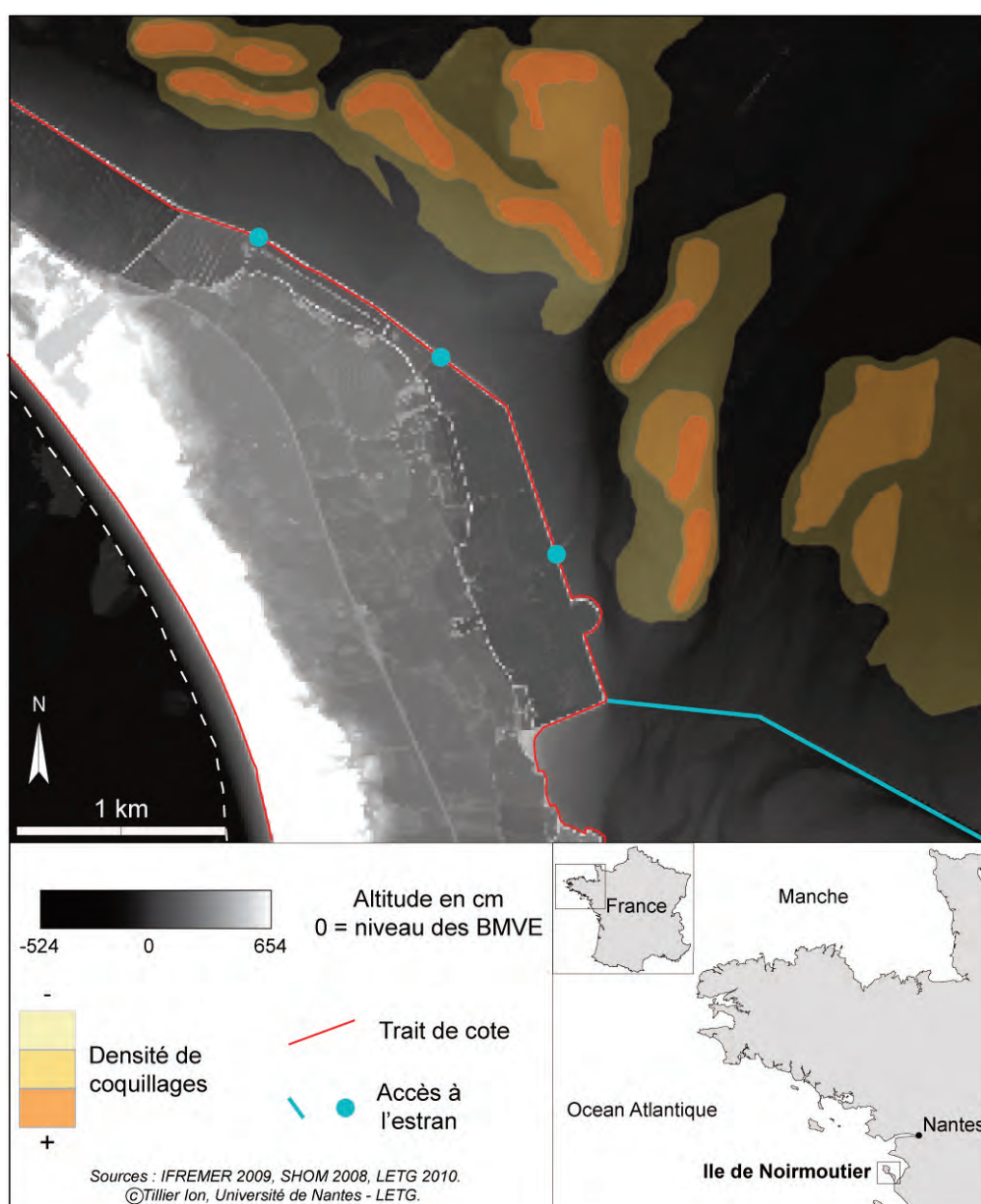


Figure I : Carte de localisation et présentation du secteur d'étude.

Il y a ainsi deux types différents d'accès à l'estran. Le Gois, chaussée submersible de 4,5 Km entre l'île et le continent, est majoritairement utilisé par les pêcheurs occasionnels. Trois accès par la digue du polder de Sébastopol situé à l'Ouest de l'estran sont aussi possibles bien que demandant une plus grande connaissance de la zone. Les habitués empruntent majoritairement ces accès.



Figure II : Vue panoramique de la zone d'étude depuis Cailla (Nord de la zone) en haut, vue de l'estran et de la digue du polder de Sébastopol, en bas à gauche, et vue du passage du Gois, en bas à droite.



Figure III : Arrachage de tales d'herbiers par des pêcheurs à gauche et présence d'avifaune limicole en nourrissage sur l'estran sur la droite.

Sur ce secteur néanmoins, les interactions entre pêcheurs à pied et environnement intertidal posent question aux acteurs. Ces interactions sont centrées sur la dégradation des herbiers de zostères et le dérangement de l'avifaune (figure III).

Pour acquérir de la connaissance sur cette activité et ces interactions, un partenariat entre le laboratoire Géolittomer (Université de Nantes / LETG CNRS), la Communauté de Communes de l'Île de Noirmoutier (CCIN), la Ligue pour la Protection des Oiseaux de Vendée (LPO85) et la Direction Départementale des Affaires Maritimes de Vendée (quartier maritime de Noirmoutier) a été mis en place. Son but était d'établir un suivi spatio-temporel de l'activité de pêche à pied de loisir.

Les objectifs plus détaillés de cette étude menée entre le 12 Mars et le 19 Septembre 2009 étaient (i) de cerner le nombre et la localisation des pêcheurs sur le secteur, (ii) de caractériser l'activité dans le temps et (i) de caractériser les parcours de pêche à une échelle individuelle.

Les résultats de cette étude sont présentés de manière synthétique ci-après.

1 Dénombrement et localisation des pêcheurs

Des comptages au télémètre laser ont été réalisés à fréquence bi-mensuelle lors des marées les plus propices (coefficients toujours supérieurs à 80, le vendredi ou le samedi), couplés avec celui des véhicules sur les parkings. Les comptages sont effectués en trois points à l'heure de basse mer plus ou moins 30 minutes suivant les points. La figure IV localise les points de comptage et montre le résultat de ce travail de spatialisation sur une marée

Ce travail de dénombrement et de localisation a permis de mettre en évidence différents éléments :

- Il confirme l'importance de ce site de pêche à pied dans le secteur, voire même sur le littoral régional. En effet, le nombre de pêcheurs sur le secteur est en moyenne sur la période étudiée de 601, avec un maximum observé le 18 Septembre 2009 de 1376 pêcheurs.

- Il a permis d'affiner les données sur l'occupation spatiale de l'activité. En effet, par rapport aux images instantanées que procuraient les campagnes aériennes commanditées par l'Agence de l'Eau Loire Bretagne à l'IFREMER, ce type d'observation permet de différencier pêcheurs actifs et pêcheurs en cours de déplacement. Ainsi, on a pu noter qu'en moyenne, 18% des pêcheurs présents lors des comptages se trouvaient en déplacement vers leur site de pêche. Or ceux-ci sont comptabilisés comme actifs sur la méthodologie exploitant les images aériennes adoptée par l'IFREMER. On a donc avec ces observations une meilleure cartographie des secteurs pêchés. Cette cartographie a été utilisée (couplée avec d'autres données) dans la définition de l'environnement du modèle PAPISCH présenté dans le Chapitre VII. On la retrouve sur la Figure 1 de cette annexe.



Figure IV : Exemple de cartographie des pêcheurs à pied sur la marée du 18 Septembre 2009.

2 Caractérisation temporelle de l'activité

A l'échelle de la saison de pêche, on a pu observer une distribution bimodale de la fréquentation : il y a un premier pic sur la fin du printemps centré sur les vacances de printemps et les premiers beaux week-ends, puis un second pic lors des grandes marées d'équinoxe en Septembre.

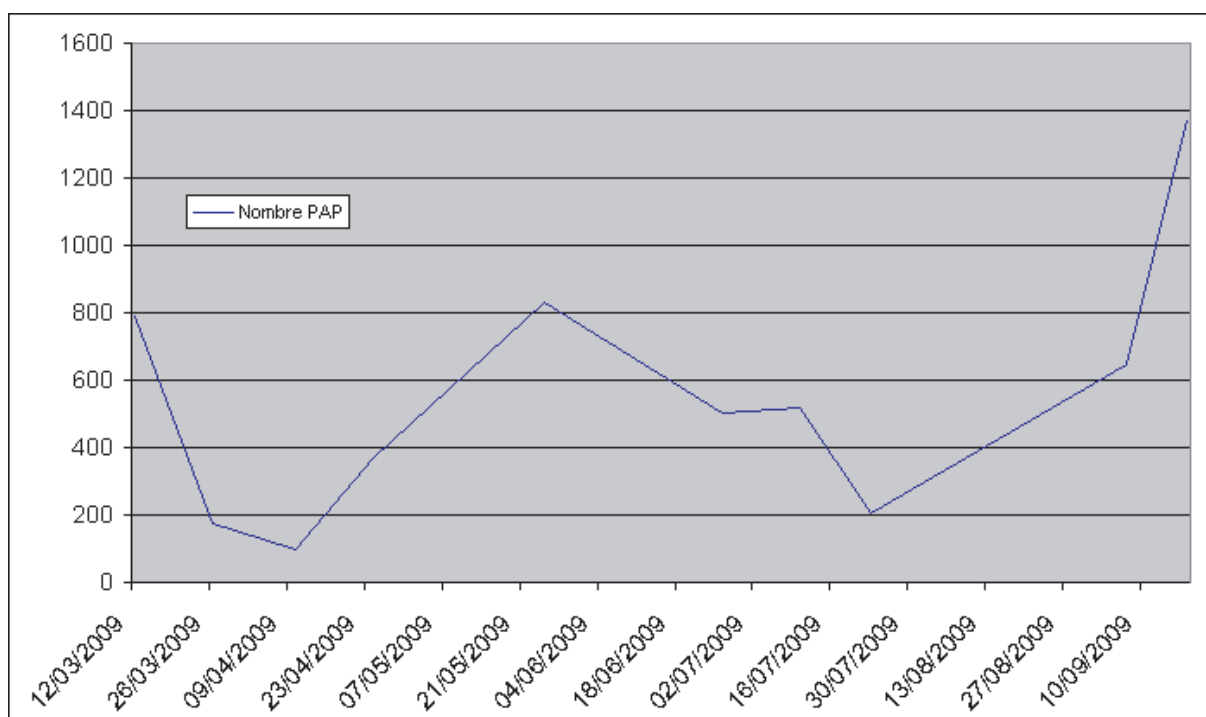


Figure V : Distribution de la fréquentation en nombre de pêcheurs à pied observés sur la zone durant la saison de pêche.

De manière générale, on peut cependant noter que la fréquentation des estrans étudiés est extrêmement variable. Certes, nous avons une moyenne élevée avec 601 pêcheurs mais le minimum observé est de 98 pêcheurs et le maximum de 1376, et l'écart type de la série est de 353. Cela pourrait s'expliquer par les conditions météorologiques qui rebutent parfois les pêcheurs occasionnels.

A l'échelle de la marée, on a pu caractériser temporellement les séquences de pêche à l'échelle des individus. Les données nécessaires à cela ont été recueillies en stationnant aux accès sur une plage horaire de 4H00 encadrant de part et d'autre l'horaire de basse mer et en notant avec le concours des pêcheurs les horaires de départ et de retour de pêche. Un échantillon de 214 pêcheurs (sur trois marées de

coefficients proches de 90) a ainsi permis d'établir les éléments suivants :

- L'ensemble de l'activité de prélèvement stricto sensu se déroule sur une plage horaire de 4H00 encadrant de part et d'autre l'horaire de basse mer.
- La moitié des pêcheurs part plus de 1H10 avant l'heure de basse mer et plus de 75% des pêcheurs partent plus de 40mn avant l'heure de basse mer.
- En fait, sauf nouveaux venus ne connaissant pas le secteur, les séquences de pêche sont assez courtes : 1H38 en moyenne. Elles dépassent rarement les 2H15 (10% seulement).

3 Analyse des parcours de pêche et description des profils

Un dernier type d'observations a été effectué pour cerner le comportement spatial des pêcheurs à pied. Le but était de mesurer une observation : suivant leur connaissance du secteur, les pêcheurs ont des choix de déplacements et de prélèvements différents.

Le protocole de mesure des parcours des pêcheurs a donc reposé sur la « pose » de GPS (c'est-à-dire proposer aux pêcheurs de prendre un GPS Garmin 60 dans une de leurs poches) sur les pêcheurs pour récupérer en fin de marée leur tracé. Cette action étant assortie d'une rapide enquête sur le pêcheur (origine géographique, âge, connaissance du secteur, espèce recherchée, etc.). Cela a été réalisé sur un échantillon peu important, par manque de temps et de matériel, seulement 42 pêcheurs.

Sur cet échantillon cependant, on a pu observer des parcours de pêche différents que l'on a pu relier à des niveaux de connaissances du terrain différents. Ainsi, comme le montre la figure VI, on a pu dégager des profils avec des archétypes de parcours différents :

- Les « habitués » sont caractérisés par des parcours plus courts (2977m en moyenne) et rectilignes en direction de sites de prélèvements connus. Il y a peu d'arrêts entre le site d'accès et celui de prélèvement.

- Les « occasionnels » sont remarquables par des parcours plus longs (4345m en moyenne) et plus sinueux. Les arrêts sont fréquents, dûs à des prélèvements même dans des zones peu denses en coquillages.

- Enfin, un troisième type de profil de pêcheurs, peu important dans nos observations (- de 10%) était constitué d'« opportunistes » suivant les habitués vers les gisements.

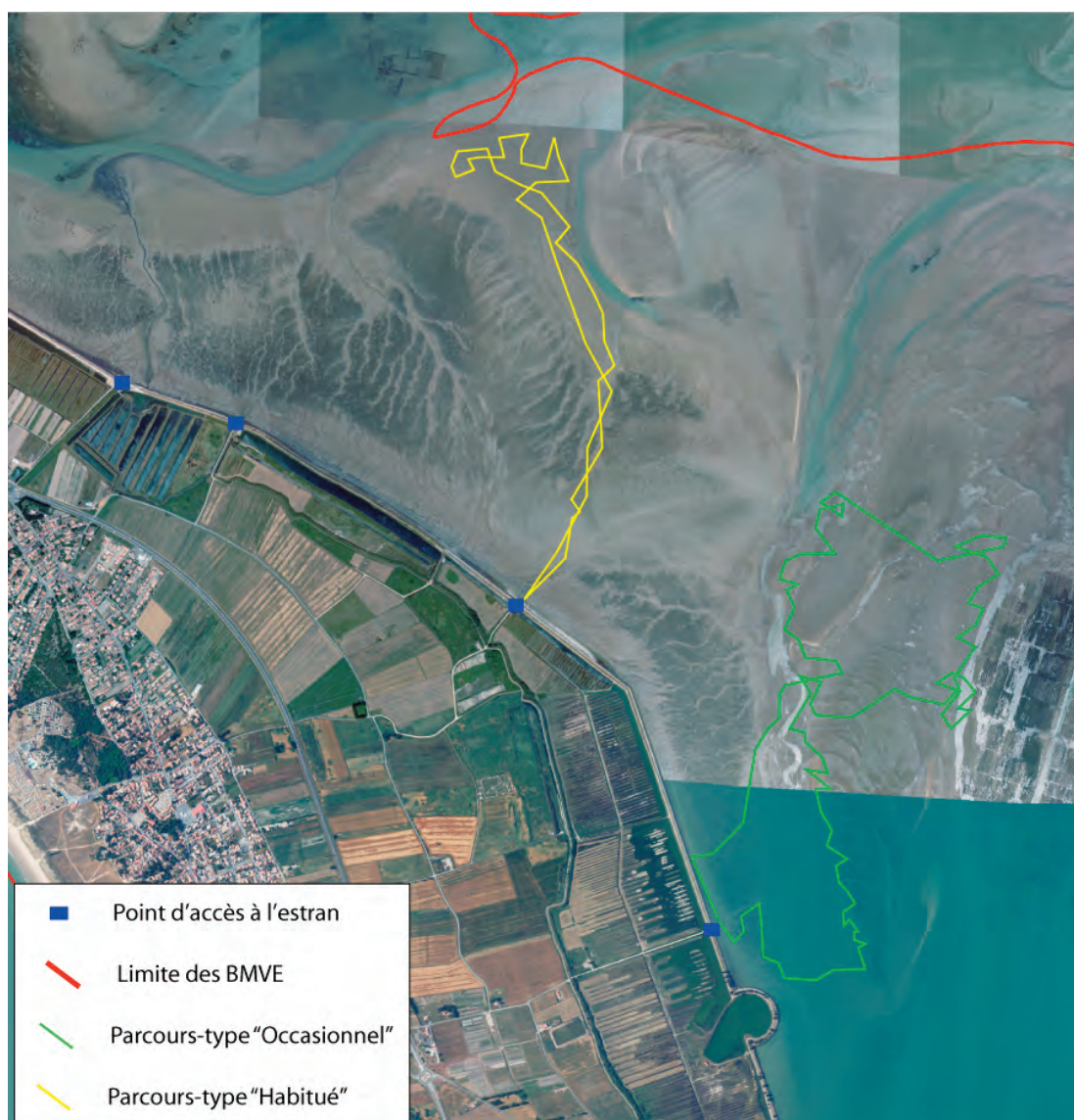


Figure VI : Archétypes de parcours de pêche.

En mode de conclusion, on peut tout d'abord noter que les méthodologies d'acquisition de données mises en œuvre ont permis de recueillir des données originales, centrées sur la définition de la distribution spatio-temporelle et des comportements spatiaux des pêcheurs à pied. Cette synthèse des relevés de terrain

effectués sur le secteur du Gois / Sébastopol apporte de la connaissance mais révèle également la difficile évaluation de l'emprise et de l'impact de l'activité de pêche à pied de loisirs du fait de sa grande variabilité. Cette difficulté de mesure peut être en partie comblée par le recours à des technologies alliant observation et simulation, comme le démontre le Chapitre VI.

Concepts et outils pour l'analyse spatiale des conflits d'usages - Applications en zone côtière (baie de Bourgneuf, Pays de Loire, France)

RÉSUMÉ - La multiplicité et l'intensité d'usages ayant parfois des pratiques antagonistes génèrent de nombreux conflits en zone côtière. Ces concurrences pour les ressources et/ou l'espace s'expriment de différentes manières mais se posent fréquemment comme freins à la gestion des territoires. En, s'ils peuvent être considérés comme des vecteurs de changement, les conflits d'usages sont fréquemment utilisés comme stratégies d'acteurs pour prolonger un *statu quo*. Plus souvent abordés sous un angle social en Géographie, ces objets ont pourtant une origine et une inscription spatiales. L'explicitation des processus spatio-temporels menant à leur genèse représente un levier pour l'aide à leur résolution ou leur anticipation. Partant de ce constat, cette thèse s'organise autour de la recherche des concepts et outils mobilisables pour l'analyse spatiale des conflits d'usages.

Ce questionnement amène tout d'abord à définir les concepts manipulés et à analyser les différentes approches existantes. Cette synthèse bibliographique permet de positionner ce que peut être une approche spatiale des conflits d'usages. Ensuite, à partir d'exemples en baie de Bourgneuf (Pays de Loire, France), le repérage et l'analyse des structures spatiales permettent de mettre en évidence l'existence d'archétypes d'interactions génératrices de conflits. Cette phase nourrit la formalisation d'un modèle conceptuel du système spatial de genèse des conflits d'usages. Sur la base de cette conception, des études spécifiques sur différentes problématiques (planification des zones de mouillages forains, développement de l'ostréiculture en mer, interactions pêche à pied/environnement) sont exposées. Celles-ci permettent de tester la pertinence d'outils de modélisation spatiale pour l'analyse des interactions. Cette partie mobilise un panel d'outils allant des chorèmes à la simulation individu-centrée en passant par la structuration de bases de données spatiales et l'utilisation d'algorithmes de combinaison de données spatio-temporelles. La mise en évidence de cas d'utilisation des différents concepts et outils utilisés et la formalisation le lien entre approche spatiale des conflits d'usages et développement de la géoprospective closent ce travail.

MOTS-CLEFS : Conflits d'usages, Interactions Nature-Société, Analyse spatiale, Modélisations, Zone côtière, Aide à la décision

Concepts and tools for spatial analysis of uses conflicts. Applications to coastal zone (bay of Bourgneuf, Pays de Loire, France)

ABSTRACT - In coastal areas, a lot of human conflicts arise both from intense and numerous human uses that may be antagonistic. Even if these competitions for space or for resources take different forms, they may constitute an obstacle for any territorial management strategies. Actually, if these conflicts may be viewed as change promoters, they are also used by the stakeholders themselves to promote a *statu quo*. Beyond the social aspect of this issue, as traditionally investigated by most of the geographers, this subject area has an important spatial dimension. Explaining the spatial and the temporal processes from which these conflicts arise may be a good way to anticipate and even solve them. Keeping this in mind, this thesis aims at providing concepts and tools to suitably analyse different conflicts of use in a spatial perspective.

We first defined the concepts used in this work, and analysed the different existing methods. This bibliographical analysis revealed what could be a spatial approach of the uses conflicts. Secondly, through the example of the Bay of Bourgneuf (Pays-de-Loire, France), the identification and the analysis of spatial structures allowed us to highlight different examples of interactions that generate conflicts. Thanks to this first step, we built a spatial conceptual model revealing the origins of the conflicts of use. Taking this into account, particular studies were conducted on different themes: anchorage planning, oyster farming, interactions environment/ recreational shellfishing). These studies were conducted to assess the relevance of the different spatial modelling tools for interaction analyses. Different tools were used in this part of our work, including choremes, individual-based, creations of spatial databases, and algorithms. To put use cases of concepts and tools in an obvious place, we finally formalise the link between the spatial approach of uses conflicts and the development of geopropective.

KEY WORDS: Uses conflicts, Nature-Society Interactions, Spatial analysis, Modeling, Coastal zone, Decision-making tool.