HAL
open science

Contribution de la méthodologie et de la technologie géodécisionnelle pour l'aide à l'évaluation des risques naturels dans le secteur de l'assurance en France

Julien Iris

To cite this version:

Julien Iris. Contribution de la méthodologie et de la technologie géodécisionnelle pour l'aide à l'évaluation des risques naturels dans le secteur de l'assurance en France. Sciences de l'ingénieur [physics]. École Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2009. Français. NNT : 2009ENMP1613 . tel-00383306

HAL Id: tel-00383306

https://pastel.hal.science/tel-00383306

Submitted on 12 May 2009

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

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

ED n°432 : Sciences et métiers de l'ingénieur

N°attribué par la bibliothèque

|__|__|__|__|__|__|__|__|__|__|

T H E S E

pour obtenir le grade de

Docteur de l'Ecole des Mines de Paris

Spécialité "Sciences et Génie des Activités à Risques."

présentée et soutenue publiquement par

Julien Iris

le 27 Février 2009

Contribution de la méthodologie et de la technologie géodécisionnelle pour l'aide à l'évaluation des risques naturels dans le secteur de l'assurance en France

Directeur de thèse : Franck GUARNIERI

Jury

M. Yvan Bédard	Rapporteur
M. Tullio Tanzi	Rapporteur
M. Roland Nussbaum	Examinateur
M. Bernard Ponsonnaille	Examinateur
M. Franck Guarnieri	Directeur de thèse

Remerciement

L'aboutissement de ce travail n'est bien entendu pas le seul fruit du travail du doctorant que je suis. Il convient de remercier l'ensemble des acteurs ayant contribué de près ou de loin à cette recherche.

En premier lieu, je souhaite vivement remercier Franck Guarnieri, mon directeur de thèse, qui a su trouver l'équilibre afin de me laisser une part d'autonomie, de prise d'initiative tout en m'accompagnant de façon méthodologique dans la structuration de ma pensée et de mes réalisations opérationnelles et expérimentales. J'ai appris à son contact le sens du mot « innovation » c'est-à-dire un mélange de liberté, de créativité et d'exigences scientifiques et techniques pour répondre à des problèmes concrets posés par le monde économique et industriel en l'occurrence celui du secteur de l'assurance. J'espère avoir la chance de poursuivre cette approche au cours de ma vie professionnelle. Au-delà des aspects professionnels j'ai apprécié ses qualités humaines en particulier sa capacité à me faire confiance et à me responsabiliser sur les sujets qu'il m'a confiés pendant ces années de travail.

Je souhaite également remercier les cadres du CRC (Centre de recherche sur les Risques et les Crises de l'Ecole des Mines de Paris) avec lesquels j'ai travaillé de concert pendant ces années de doctorat. A ce titre je remercie Samuel Olampi pour sa disponibilité et son expertise sur l'administration des systèmes informatiques développés dans le cadre de mes travaux et que nous avons réussi à porter conjointement jusqu'à un stade pré-industriel.

Je remercie Aldo Napoli pour l'historique de ses travaux et son expertise sur les méthodes et les outils d'analyse spatiale sur les risques naturels. Même si nos échanges scientifiques furent parfois rugueux, j'estime avec le recul qu'ils ont été constructifs et qu'ils m'ont aidé à m'assurer de la solidité scientifique de mon raisonnement.

Je remercie Valérie Godfrin pour sa disponibilité et son expertise juridique sur la politique publique de prévention des risques naturels ainsi que sur le cadre légal de l'intervention des sociétés d'assurance en France sur ce thème. Les éléments extraits notamment des travaux contractuels avec la Mission Risques Naturels m'ont permis d'étayer et de donner corps à la formulation du contexte.

Enfin je remercie Emmanuel Garbolino avec lequel nos travaux se sont parfois croisés puisqu'il a travaillé sur l'analyse de l'exposition au risque de rupture de barrage des portefeuilles d'assurés ; cela m'a permis de me rendre compte de la crédibilité de l'analyse de la distribution géographique des sites assurés pour le compte de la réassurance notamment.

Le travail de recherche fut mené dans un cadre partenarial avec comme acteur principal le secteur de l'assurance représenté par la Mission Risques Naturels (MRN) émanation de la Fédération Française des Sociétés d'Assurance et du Groupement des Mutuelles d'Assurance. Je tiens à remercier Roland Nussbaum, son directeur, qui a toujours accueilli positivement mes interventions essentiellement techniques mais aussi lors des démonstrations faites devant

les professionnels des différentes sociétés d'assurance au sein de la FFSA. Il a pris le temps d'être pédagogue pour m'expliquer les rouages de l'assurance dommages aux biens en France. Sa vision et son expertise m'ont permis de renforcer l'idée que nous étions sur la bonne voie. Je tiens à remercier aussi Jérôme Chemitte docteur ingénieur du CRC en thèse CIFRE au sein de la MRN avec lequel j'ai énormément travaillé en binôme ; l'aboutissement des développements applicatifs concrets pour la MRN a pu se faire grâce à la complémentarité de nos deux travaux.

Je souhaite remercier les partenaires technologiques et scientifiques du Québec ayant mis à disposition du CRC l'ensemble des outils innovants du marché et de la recherche de pointe ; couplage de systèmes d'information géographique et de systèmes d'information d'entreprise. A ce titre je tiens donc à remercier Jacques Charron, Francine Gittins, Sylvain Beaumont de la société Kheops Technologies pour leur collaboration dans le cadre du développement du géoportail de la MRN autour de la technologie JMAP. Mes remerciements vont également au professeur Yvan Bédard et à son équipe pour la qualité de l'ensemble de leurs publications scientifiques autour de SOLAP (Spatial OLAP) qui m'ont permis de m'approprier correctement les concepts, la méthodologie et la technologie associés au domaine du « géodécisionnel ».

Je souhaite remercier l'ensemble des membres du jury. Les rapports des Professeurs Bédard et Tanzi ont été particulièrement éclairants. Les échanges et discussions avec messieurs Nussbaum et Ponsonnaille ont eux aussi été riches d'enseignements.

Pour finir, je remercie mes proches, mes amis, ma famille pour m'avoir épaulé psychologiquement tout au long de ce processus avec son lot de doutes, d'incertitudes, de remises en question qui sont le propre d'une démarche naturelle de recherche et d'innovation (en tout cas à mon sens).

L'idée de la these 9

Chapitre I. Les besoins et les attentes du secteur de l'assurance dans le processus de gestion des risques naturels 19

I.1. Eléments de contexte sur les risques naturels 20
I.1.1. Augmentation des coûts des catastrophes naturelles et une vulnérabilité accrue 20
I.1.1.i. L'augmentation des coûts 20
I.1.1.ii. L'accroissement de la vulnérabilité 25
I.1.2. La prévention des risques naturels en France 28
I.1.2.i. La politique de prévention des risques naturels en France 28

I.2. Le contexte de l'assurance des risques naturels en France 31
I.2.1. L'assurance des catastrophes naturelles en France 31
I.2.1.i. L'assurance dans le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles 31
I.2.1.ii. La réassurance des catastrophes naturelles en France 33
I.2.1.iii. Les réformes à moyen terme 34
I.2.2. Les besoins des sociétés d'assurance 36
I.2.2.i. Les besoins collectifs : évaluer et renforcer la politique publique de prévention 36
I.2.2.ii. Des besoins individuels : optimiser la souscription et la gestion des sinistres 37
I.2.2.iii. Conserver la marge de solvabilité 38

I.3. Etat de l'art des outils mis à disposition de la profession 38
I.3.1. Les outils d'inventaires sur les aléas 38
I.3.1.i. Données mises à disposition par les pouvoirs publics 39
I.3.1.ii. Banques de données mondiales sur les aléas 41
I.3.2. Les outils de modélisation de catastrophes 41
I.3.2.i. Les modèles probabilistes de catastrophes 42
I.3.2.ii. La modélisation des catastrophes en France 45
I.3.3. Les outils de diagnostic et de zonage du risque pour le secteur de l'assurance 46
I.3.3.i. Les outils de zonage à l'étranger 46
I.3.3.ii. Les géoservices de la MRN 48
I.3.4. Synthèse sur les outils 49

I.4. Les fonctionnalités attendues pour l'analyse des risques naturels 50
I.4.1. La construction des indicateurs a partir de données hétérogènes 50
I.4.1.i. Croiser des contenus des données hétérogènes 51
I.4.1.ii. Associer des données géographiques et non géographiques 52
I.4.2. Les capacités d'exploration des indicateurs 53
I.4.2.i. L'analyse multi-échelles 53
I.4.2.ii. L'analyse multi-thématiques 53
I.4.2.iii. L'analyse des corrélations 54

I.5. Conclusion du chapitre 54

Chapitre II. Présentation des fondements conceptuels et technologiques des systèmes d'information Geodecisionnels 57

II.1. La modélisation dans les systèmes informatiques décisionnels 59
II.1.1. Définition des systèmes d'information décisionnels 59
II.1.1.i. L'utilité des systèmes décisionnels 59
II.1.1.ii. L'architecture décisionnelle 61
II.1.2. Transposition de la Modélisation Multidimensionnelle 64
II.1.2.i. Modélisation conceptuelle 65
II.1.2.ii. Modélisation logique 69

II.1.3. Synthèse 72

II.2. Le géodécisionnel au croisement du spatial et du décisionnel 72

II.2.1. Les besoins couverts par le géodécisionnel 73

II.2.1.i. La maturité technologique de la géomatique 73

II.2.1.ii. L'information géographique 74

II.2.1.iii. L'appropriation de la géomatique dans le secteur de l'assurance 75

II.2.1.iv. Les systèmes d'information géodécisionnel (SIGD) : au croisement de la géomatique et du décisionnel 76

II.2.2. La modélisation spatiale multidimensionnelle 79

II.2.2.i. Le concept de « Dimension Spatiale » 79

II.2.2.ii. Le concept de « Dimension Opérateur » 82

II.2.2.iii. Le concept de « Mesure Spatiale » 83

II.2.2.iv. Modélisation logique 84

II.2.2.v. Les concepts clés de la visualisation d'un SIGD 85

II.2.3. Les exemples d'applications géodécisionnelles de type Spatial OLAP 86

II.2.3.i. Le géodécisionnel appliqué à la gestion des risques naturels 87

II.2.3.ii. SOLAP appliqué à l'assurance 89

II.2.4. Conclusion du chapitre 90

Chapitre III. Modélisation geodecisionnelle appliquee à la problematique de l'ASSURANCE DES RISQUES NATURELS 93

III.1. Cas d'étude sur l'évaluation des mesures de prévention 95

III.1.1. Etape 1 : Expression des besoins 96

III.1.1.i. Rappel sur les mesures préventives 96

III.1.1.ii. Les besoins fonctionnels 97

III.1.2. Etape 2 : Formaliser les Indicateurs 98

III.1.2.i. Les indicateurs sur la pertinence des mesures préventives 98

III.1.2.ii. Les indicateurs sur l'efficacité des mesures préventives 100

III.1.3. Etape 3 : Poser les Hypothèses 102

III.1.4. Etape 4 : Recenser les données mobilisables 105

III.1.4.i. Les données mobilisables sur l'occupation du sol 106

III.1.4.ii. Les données sur les risques naturels 108

III.1.5. Etape 5 : Réaliser le modèle spatial multidimensionnel 111

III.1.5.i. Transposition de la modélisation à l' « Evaluation de la Pertinence des mesures préventives » 113

III.1.5.ii. Transposition à l' « Evaluation de l'Efficacité des mesures préventives » 121

III.2. Cas d'étude sur l'exposition des portefeuilles d'assurés d'une société d'assurance 127

III.2.1. Etape 1 : Expression des besoins 127

III.2.1.i. Rappel sur les besoins individuels d'une société d'assurance 128

III.2.1.ii. Les besoins fonctionnels 129

III.2.2. Etape 2 : Formaliser les Indicateurs 129

III.2.3. Etape 3 : Poser les Hypothèses 131

III.2.4. Etape 4 : Recenser les données mobilisables 134

III.2.4.i. Les données opérationnelles d'une société d'assurance 134

III.2.4.ii. Les données sur les inondations 135

III.2.5. Etape 5 : Réaliser le modèle spatial multidimensionnel 138

III.3. Conclusion du chapitre 144

Chapitre IV. Démarche d'implémentation de prototypes géodecisionnels appliqués à la problématique147

IV.1. Appropriation technologique de JMAP-SPATIAL OLAP 149

IV.1.1. Architecture de jmap-solap 150

IV.1.1.i. Description générale 150
IV.1.1.ii. Le Module d'administration de JMAP-SOLAP 153
IV.1.1.iii. Le « Module de Visualisation » JMAP-SOLAP 156

IV.2. Etape 2 : Réalisation des traitements d'ingénierie 159
IV.2.1. Etape 2a : Extraction des données 160
IV.2.2. Etape 2b : Transformation des données 162
IV.2.2.i. Les traitements sur l'évaluation de la pertinence des mesures préventives 163
IV.2.2.ii. Les traitements sur l'évaluation de l'efficacité des mesures préventives 164
IV.2.2.iii. Les traitements sur l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés 166
IV.2.3. Etape 2c : Chargement des cubes 170
IV.2.3.i. Chargement des « tables de Dimension » 170
IV.2.3.ii. Chargement des « tables de Faits » 171

IV.3. Etape 3 : Restitution des résultats 173
IV.3.1. Restitution du modèle sur l' « Evaluation de la pertinence des mesures préventives » 174
IV.3.1.i. Exemples de navigation SOLAP 175
IV.3.1.ii. Les apports métiers potentiels de l'interface 178
IV.3.2. Restitution du modèle sur l' « Evaluation de l'efficacité des mesures préventives » 179
IV.3.2.i. Exemples de navigation SOLAP 179
IV.3.2.ii. Les apports métiers potentiels 182
IV.3.3. Modèle évaluation de l'exposition des portefeuilles assurés 183
IV.3.3.i. Exemples de navigation SOLAP 183
IV.3.3.ii. Les apports métiers potentiels 186

IV.4. Conclusion du chapitre 188

BILAN, LIMITES ET PERSPECTIVES 191

Bilan sur les acquis de la thèse 191
Une offre incomplète pour couvrir les besoins « collectifs » et « individuels » du secteur de l'assurance 191
Les méthodes et les outils du géodécisionnel transposables à la problématique de l'assurance des risques naturels 192
La conception d'une démarche méthodologique de modélisation spécifique pour la problématique de l'analyse des risques naturels dans le secteur de l'assurance 193
Les premières explorations technologiques autour de la technologie JMAP-SOLAP 194

Les limites et les freins à l'opérationnalisation du géodécisionnel sur le sujet de l'assurance des risques naturels 196
Limites sur la qualité des données 196
Limites sur la technologie géodécisionnelle 198

Les perspectives du géodécisionnel dans le secteur de l'assurance sur le thème des risques naturels 199

FIGURES 203

TABLEAUX 207

Bibliographie 209

L'IDEE DE LA THESE

Si l'on en croit les professionnels de l'assurance et de la réassurance les coûts des conséquences des catastrophes naturelles augmentent de façon continue depuis les années 50. Les rapports annuels publiés 2008 sur le thème des catastrophes naturelles par la SwissRe (leader mondial de la réassurance) [SwissRe, 2008] et par la Munich Re [MunichRe, 2008], montrent l'évolution depuis des décennies de l'ampleur des pertes humaines et des montants des pertes suite aux conséquences des catastrophes naturelles. Bien que les années 2006 et 2007 n'aient pas été les plus significatives, l'année 2005 a été l'année de tous les records avec 97 000 victimes et un coût total des dommages avoisinant les 200 milliards de dollars dont 75 milliards de dollars à la charge des assureurs [SwissRe, 2006]. La diversité des phénomènes et leur intensité ont été les traits caractéristiques de ces événements. Le cyclone Katrina fut la catastrophe la plus chère de l'histoire suivie par des cyclones et des ouragans comme Wilma et Rita sur les côtes du Mexique. Quant à l'Europe, des inondations violentes ont touché des villes de premier rang en Allemagne, en Autriche et en Suisse. Des séismes en Asie se sont avérés extrêmement meurtriers : le séisme d'octobre 2005 au Pakistan a provoqué à lui seul la mort de 87 000 personnes. L'année 2004 était déjà considérée jusqu'à 2005 comme l'année la plus coûteuse de l'histoire avec près de 145 milliards de dollars et près de 100 000 victimes (en grande partie causées par le Tsunami en Asie du Sud Est) [SwissRe, 2005].

Les experts de la vulnérabilité territoriale et sociale tombent d'accord sur le fait que les raisons principales sont l'accroissement de l'exode rural (notamment dans les pays émergents) générant des zones urbaines de plus en plus denses avec une forte pression pour exploiter les zones à risque. Ce phénomène a pour conséquence l'accroissement de la densité des populations et des constructions dans les zones à risque. La fragilité des matériaux de construction utilisés et l'absence de régulation entraînent une vulnérabilité du territoire de plus en plus grande. L'étude des liens complexes entre urbanisme, développement social, économique et réglementation des zones à risques naturels et technologiques est au centre de la problématique de l'étude de la vulnérabilité des territoires. [PNUD, 2004], [Veyret, 2006], [Wisner et al., 2004], [Leone et al., 2006]. Le manque de contrôle et de supervision des constructions dans les zones à risque est un facteur d'accroissement de la vulnérabilité. Non seulement la croissance urbaine dans des zones préexistantes peut entraîner des détériorations physiques et économiques et augmenter la vulnérabilité, mais aussi l'urbanisation des nouvelles régions est en cause : la construction de nouveaux axes de communication reliant des zones préalablement isolées peut déclencher un processus rapide de croissance urbaine et de transformation territoriale sans prendre en compte le critère de l'exposition aux aléas naturels telles que les inondations par exemple.

Les catastrophes naturelles représentent un choc pour la société dans son ensemble à plusieurs titres. Le choc est physique et matériel puisqu'il s'agit de pertes humaines et de dommages matériels importants. Le choc est aussi émotionnel générant des mécanismes de solidarité et des élans humanitaires comme on a pu l'observer de manière flagrante à la suite du Tsunami en 2004. Enfin le choc est financier lorsqu'il s'agit d'indemniser et de réparer les sinistres causés. A ce titre le secteur de l'assurance est impliqué selon le taux de pénétration du marché

de l'assurance de dommage et de personnes dans les zones géographiques à risque. Dans le cas de Katrina les pertes ont été significatives pour le secteur du fait de la forte présence de biens et de personnes assurés dans cette partie des Etats-Unis alors que les pertes assurées ont été beaucoup plus faibles en Indonésie suite au Tsunami où le taux de pénétration du marché de l'assurance est très faible ; pourtant les deux catastrophes sont comparables en terme d'intensité et de conséquences physiques et matérielles.

Les conséquences se traduisent par des dommages directs humains et matériels sur les biens et les personnes et des dommages indirects concernant plus spécifiquement les entreprises comme des pertes économiques suite à des interruptions d'activité ou à des coupures d'accès à des voies de circulation ou de communication [Mengual et al., 2004]. Le secteur de l'assurance dommage propose des couvertures d'assurance pour permettre aux acteurs de la vie économiques comme aux citoyens de faire face financièrement à ces conséquences. Pour pouvoir être capable de répondre à la demande et offrir une protection financière suffisamment fiable à ses clients, les sociétés doivent se doter d'outils d'analyse pour mieux maîtriser les risques naturels et ce pour les différents processus métiers qui constituent la chaîne de valeur de l'assurance : la souscription, la prévention, la gestion des sinistres, l'évaluation financière pour le provisionnement et la gestion de la réassurance. Le besoin d'outils est de plus en plus pressant à mesure que les coûts des catastrophes augmentent et que les normes comptables européennes poussent inévitablement les entreprises d'assurance à démontrer leur niveau de solvabilité en cas de scénarios extrêmes. C'est l'objet de la directive européenne Solvabilité II qui, s'inspirant de la réforme Bâle II pour les organismes bancaires, va obliger d'ici à 2010 les compagnies d'assurance à justifier leur capacité à faire face aux catastrophes [Solvabilité II, 2007]. Par conséquent il va être nécessaire d'être capable de cartographier les risques et les processus afférents tout en respectant les normes comptables internationales (IFRS) et les normes prudentielles.

Le manque d'outils robustes en France pour l'évaluation des risques naturels dans l'assurance

Du fait du caractère spatialisé des risques naturels, tout outil d'analyse ne peut s'affranchir de la composante géographique des biens exposés (enjeux) et des dangers naturels (aléas). Les risques naturels sont ceux ayant la plus forte dépendance géographique, comme en témoignent les nombreux ouvrages dédiés à la gestion spatiale des risques naturels et les outils exploitant l'information géographique [Buisson, 1990], [Brugnot G., 2001], [Guarnieri et al., 2003]. Dans ce domaine les outils mis à disposition spécifiquement pour les assureurs en France sont trop peu nombreux. Cette problématique est abordée par la Mission Risques Naturels [MRN, 2008], organisme émanant de la Fédération Française des Sociétés d'Assurances (FFSA) et du Groupement des Mutuelles d'Assurance (GEMA), qui a pour objet de développer la connaissance sur les aléas et sur la vulnérabilité au travers d'outils cartographiques dont notamment un géoportail web sur les risques naturels développé avec le concours de l'auteur dans le cadre d'un partenariat avec le Centre de Recherche sur les Risques et les Crises de l'Ecole de Mines de Paris [Iris et al., 2007] ainsi que des méthodes d'analyse cartographique pour fournir des indicateurs de vulnérabilité sur le territoire [Chemitte, 2007]. La MRN a aussi pour objet de développer la communication sur la prévention des assurés au travers de la mise à disposition de mémentos pratiques et de

plaquettes informatives mais aussi au travers de la réalisation d'études sur l'évaluation de la qualité des Plans de Prévention des Risques Naturels (PPR) permettant de réglementer l'urbanisme dans les communes à risque. La Caisse Centrale de Réassurance (CCR) met à disposition des assureurs des outils permettant de reconstituer des événements historiques sur des portefeuilles provenant des sociétés elles mêmes [Bidan, 2007].

Des outils sont par ailleurs commercialisés à l'étranger par des sociétés privées spécialisées dans la modélisation des catastrophes comme Risk Management Solutions [RMS, 2008] ou EQECAT [EQECAT, 2008] ou encore AIR [AIR, 2007] ; ces méthodes de modélisation des risques reposent sur des modèles stochastiques (ou probabilistes) de scénarios catastrophiques (inondation, ouragans, tempêtes, etc.) calibrés d'après des séries d'événements historiques. Cette approche est couramment utilisée pour modéliser les phénomènes météorologiques (tempêtes, ouragans) surtout aux Etats-Unis mais ne sont pas pratiqués pour les inondations en France où les méthodes de modélisation utilisée par les organismes scientifiques et les cabinets d'étude en hydrologie reposent sur des méthodes déterministes c'est-à-dire exploitant des données pour un nombre limité de scénarios significatifs. Les plateformes technologiques spécialisées sur la modélisation probabiliste des catastrophes sont utilisées à l'étranger (surtout en Angleterre et aux Etats Unis) dans la négociation entre assureurs et réassureurs ; en revanche celles-ci ne sont actuellement pas disponibles en France pour des aléas naturels majeurs comme les inondations, la sécheresse ou encore les mouvements de terrains. Cette situation s'explique notamment par le fonctionnement de la réassurance des risques naturels en France dont la garantie en dernier recours est portée par l'Etat via un accord exclusif avec la CCR n'ayant pas favoriser la pénétration d'autres réassureurs sur le marché français pour ces types de risques.

En dehors des outils évoqués ci-dessus, il n'existe pas d'outil permettant d'offrir aux sociétés d'assurance une vision analytique sur le thème des risques naturels.

Des raisons multiples peuvent expliquer cette situation

Ce constat s'explique en premier lieu par le problème de l'hétérogénéité des données exploitables sur les risques naturels tant dans la représentation des aléas que dans les données réglementaires telles que les PPR. Les données cartographiques ne respectent pas les mêmes standards car la maîtrise d'ouvrage de la production de données a été décentralisée au niveau régional (Direction Régionale de l'Environnement). Ainsi par exemple le choix de la méthode de modélisation des inondations est différent d'une région à une autre de même que les formats informatiques et le niveau d'accessibilité sont variables d'une région à une autre. De même pour les PPR dont la représentation du zonage des risques dans les plans d'urbanismes ne respectent pas un standard commun au niveau national ; les variations dans la représentation peuvent s'observer d'une commune à une autre dans la même région.

D'autre part le manque d'expérience au sein des sociétés d'assurance dans l'exploitation de croisements des données publiques (aléas, prévention) avec des données privées assurantielles propres à chaque société (conditions financières des contrats souscrits, montants des sinistres passés) renforce le constat du manque d'outils. A l'heure actuelle peu d'interfaces existent pour véritablement coupler dans un seul et même modèle les processus métiers d'une

entreprise d'assurance avec les modélisations d'aléas telles que les cartographies sur les inondations ou la sécheresse qui sont les deux principaux risques naturels en France. A titre d'exemple pour illustrer ce manque, aucune société d'assurance française aujourd'hui est capable de savoir de façon précise combien de ses sites assurés (lieux de risque) sont situés en zone d'aléa (zone inondable, zone de sécheresse ou sismique par exemple). Pour obtenir cette information il faudrait mettre en œuvre un travail considérable et improductif de relevés et de dépouillements d'informations dans les mairies des communes à risque.

En outre le fonctionnement institutionnel du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en France (régime Catnat) contribue au constat actuel. Celui-ci repose sur un principe de solidarité garantissant une indemnisation obligatoire des sinistrés assurés mais cantonnant les sociétés d'assurance dans un rôle « d'indemniseur » (simplement en charge de réparer les dommages causés) et non pas dans un rôle de gestionnaire opérationnel du risque (avec notamment la modulation de la prime et de la franchise en accord avec l'évaluation du niveau d'exposition au risque). Dans le cadre de la législation actuelle, un assuré ayant une habitation située dans le lit majeur d'une rivière aura le même taux de surprime sur son contrat d'assurance habitation (12%) que celui situé dans une zone totalement à l'abri de tout aléa inondation. Une mission d'enquête de l'Etat a établi la nécessité de réformer ce système pour transférer plus de responsabilité aux sociétés d'assurance dans l'évaluation et la gestion financière des risques naturels [FFSA, 2007]. Une des conséquences de cette réforme serait de supprimer le taux unique de 12% et de le remplacer par un taux modulable en fonction du degré d'exposition notamment. Cet historique n'a pas poussé le secteur de l'assurance à investir de façon significative pour mettre en place des outils de zonage du risque comme c'est le cas dans d'autres pays comme en Allemagne (système de zonage pour les inondations ZURS) [Lünenburger, 2006] ou aux Etats-Unis (le logiciel HAZUS de la Federal Emergency Management Agency) [HAZUS, 2008]. En France l'exploitation des données par les assureurs dépend de l'avancement des procédures administratives pour homogénéiser et mettre à disposition les cartes de zonage des risques naturels (inondation, sécheresse, séisme, mouvements de terrain, etc.) dont les différentes entités administratives (Ministère, Région, Département, Commune) sont en charge pour la totalité des bassins de risque du territoire national. La non participation au financement et à la production de ces données cartographiques constitue un frein majeur dans la mécanique d'appropriation et l'analyse par le secteur de l'assurance [Guarnieri, 2006]. Cette difficulté est d'autant plus accentuée par le fait que les méthodes de production et de modélisation des aléas diffèrent d'une région à une autre ou d'un bassin de risque à un autre.

Enfin la démocratisation des technologies permettant l'accès à l'information géographique pour des profils d'utilisateurs autres que les géographes ou les spécialistes de l'urbanisme est un phénomène émergent et en cours de maturation tant dans le secteur de l'assurance que dans d'autres secteurs économiques. Ceci a permis depuis quelques années le développement de nouveaux outils en ligne [Scharl et al., 2007]. Cela laisse entrevoir une appropriation par l'ensemble des professionnels du secteur de l'assurance des outils de communication et d'analyse autour de l'information géographique.

Maturité des outils exploitant de l'information géographique

La période actuelle voit émerger un ensemble d'initiatives laissant entrevoir de nombreuses perspectives dans le domaine des services liés à l'utilisation de l'information géographique. Sur le plan institutionnel, la directive européenne INSPIRE [CNIG, 2007] a pour objectif de rendre accessible l'information géographique sur un ensemble de domaines comme les données de référence sur les territoires mais aussi sur les risques naturels. Un ensemble de normes ISO TC211 (ISO 19101 à 19139) [ISOTC211, 2008], et de recommandations comme celles de l'organisation libre internationale (l'Open Geospatial Consortium [OGC, 2008]) encadrent la diffusion et les modes d'accès aux données avec une approche orientée service. Ces initiatives poussent les organismes publics comme les ministères ou les organismes semi-publics comme l'Institut Géographique National [IGN, 2008] à produire des données numérisées, homogènes et exploitables par tous les corps de métiers. A titre d'exemple de démarche en accord avec la mise à disposition de données géographiques est la mise en place du géoportail de l'IGN [Leboeuf, 2006].

Au niveau technologique on voit se généraliser de façon significative l'utilisation du Global Positioning System (GPS) auprès du grand public permettant de géolocaliser des biens et des personnes et d'offrir de multiples services : calculs d'itinéraires, services de proximité pour accéder à des hôtels, restaurants, fonctions avancées sur les terminaux mobiles ou embarquées dans les véhicules. S'inscrivant dans cette dynamique, quelques entreprises d'assurance ont entrepris des campagnes GPS visant à géoréférencer l'ensemble des objets de risques (logements, entreprises et automobiles) associés à leurs portefeuilles de contrats. Même s'il est difficile d'évaluer la part des portefeuilles d'assurance d'ores et déjà géocodée, la démarche d'harmonisation des adresses et du géoréférencement des polices d'assurance devient un levier stratégique. De fait, l'exploitation de ces informations est à l'étude pour fournir des services performants et localisés aux assurés depuis la souscription jusqu'à l'assistance en passant par la chaîne de gestion des sinistres (citons les exemples de la balise Argos GPS de la MAIF et la MACIF [Echos, 2008] et l'initiative "pay as you drive" à l'étude chez AXA France [Daesub et al., 2008]). De plus les technologies dites de « web-mapping » (outil cartographique en ligne) permettent de publier des applications géographiques sur Internet et offrent ainsi aux différents acteurs la possibilité de communiquer et d'interagir virtuellement dans l'espace et dans le temps [Maguire et al., 2005]. De nombreuses solutions commerciales et libres de droit permettent aujourd'hui de construire des Systèmes d'information Géographique (SIG) en ligne dédiés à de nombreux secteurs économiques. Une chaire de recherche spécialisée dans la Géomatique d'Affaires [GeoBusiness, 2008] a d'ailleurs été créée à Sherbrooke au Québec pour favoriser l'appropriation par les entreprises de ces technologies. Cette chaire qui fédère la communauté scientifique avec le monde économique, témoigne de l'intérêt grandissant des entreprises (et notamment des sociétés d'assurance) pour ces technologies.

Le géodécisionnel : un secteur émergent pour l'analyse et la décision dans l'espace et dans le temps

Au regard de la maturité des outils d'accès et de diffusion de l'information géographique d'autres domaines connexes voient le jour. C'est le cas des outils dits "géodécisionnels" dont on proposera une définition dans ce manuscrit. Il s'agit du couplage de deux disciplines que sont les Systèmes d'Information Décisionnels (SID) et les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Les systèmes décisionnels constituent un ensemble d'outils informatiques permettant de supporter la décision c'est-à-dire d'offrir aux utilisateurs la possibilité d'explorer des indicateurs en accord avec la représentation mentale du décideur. Les fondements conceptuels et théoriques ont été consolidés dans les années 1990 par [Codd et al., 1993], [Inmon, 1994] et [Kimball, 1996]. Un SID repose sur une modélisation de données dite multidimensionnelle ; la conception de ce modèle permet d'offrir un environnement d'analyse à l'aide de vues de détail et de vues de synthèse sur les indicateurs suivant des axes d'analyse prédéfinis. A l'instar des SIG, les SID ne supportent pas l'analyse spatiale. Les SIG sont les outils technologiques permettant d'assurer les cinq fonctionnalités regroupées sous le terme des « 5 A » : Acquisition, Archivage, Analyse, Affichage, Abstraction sur les données géographiques [Longley et al., 2001]. Les SIG reposent sur un environnement transactionnel et des modèles de données relationnels dont la structure n'est pas destinée à supporter la décision comme le sont les environnements multidimensionnels.

Ainsi le géodécisionnel vient enrichir le décisionnel via l'intégration de la composante spatiale [Rivest et al., 2001]. L'apport principal est d'offrir des fonctionnalités d'analyse spatiale et temporelle du contenu d'une structure multidimensionnelle afin d'évaluer des corrélations possibles entre des indicateurs clés ou des phénomènes [Bédard et al., 1997]. Ainsi, en reposant sur une extension de la modélisation multidimensionnelle, le géodécisionnel offre un niveau d'analyse dédié à la décision propre au SID et un niveau d'exploration spatiale propre aux SIG. Il s'agit d'une innovation dans le domaine des systèmes d'information. La technologie géodécisionnelle n'est pas encore complètement mature mais elle présente des caractéristiques permettant d'exploiter les composantes géographiques des données stockées dans les systèmes d'information des entreprises dont celles ci n'avaient pas forcément conscience.

La gestion des risques est une discipline transversale nécessitant de recourir à une approche interdisciplinaire mêlant à la fois des aspects juridiques, des processus d'ingénierie industrielle, des outils informatiques mais aussi des notions de gestion. Cette interdisciplinarité nécessite d'être capable d'intégrer des données provenant de diverses sources. Cette observation s'applique tout particulièrement à la gestion des risques naturels dont la problématique est à l'intersection de nombreux domaines aussi bien scientifique, juridique, économique que politique et social. Yannick Manche, dans ses travaux de recherche sur l'analyse géographique et les systèmes d'information sur les risques naturels, met en évidence l'hétérogénéité des sources de données à manipuler depuis les études physiques des phénomènes jusqu'à l'étude d'impacts socio-économiques en passant par la cartographie réglementaire [Manche, 1997], [Manche, 2000].

L'idée d'étudier l'apport potentiel pour le secteur de l'assurance

Comme pour tous les risques que souhaitent maîtriser le secteur de l'assurance il est important de pouvoir prévoir les dommages chaque année. Contrairement aux prévisions sur les sinistres automobiles dont les séries d'accidents sont suffisamment importantes pour élaborer des études statistiques (domaine de l'actuariat) et réévaluer les montants des primes de manière très fine, les risques naturels eux sont caractérisés par l'absence de données historiques, des fréquences de survenance faibles et des intensités exceptionnelles. Les risques naturels sont des cas particuliers extrêmement difficile à prédire sur une année d'exercice. Faute de données entrantes, la possibilité d'exploiter des études purement probabilistes est difficilement envisageable. C'est pourquoi il est nécessaire d'envisager des méthodes reposant davantage sur des scénarios déterministes c'est-à-dire reposant notamment sur la modélisation de scénarios extrêmes voir maximum (ex : pour les inondations on parle de période de retour de 10, 50, 100 voir 500 ans) [Nussbaum, 2006].

L'idée de la thèse est d'étudier en quoi le géodécisionnel, en tant que méthodologie et technologie, peut augmenter la lisibilité sur les risques naturels pour les besoins des professionnels de l'assurance. Les problématiques concernées ont fait l'objet d'études et d'analyses au sein du CRC depuis plusieurs années au travers de travaux contractuels menés avec le secteur de l'assurance notamment (Mission Risques Naturels, MAIF, AXA) mais aussi à partir de l'expérience acquise par le laboratoire dans le domaine de la modélisation des risques naturels. On peut citer notamment les études menées autour de l'évaluation des Plans de Prévention des Risques (PPR) qui réglementent l'urbanisation des zones à risques sur l'ensemble des communes à risque du territoire national [Blanchi et al., 2003], [EtudePPR, 2007]. D'autres études et prototypes ont été réalisés sur le thème des risques naturels avec la MAIF sur les crues liées aux ruptures de barrages ou encore des études sur la géolocalisation et l'évaluation de l'exposition des hôtels du groupe ACCOR au travers le monde. Enfin la modélisation de crues est l'objet d'une thèse commencée en janvier 2009 par Arnaud Donguy du CRC pour le compte de la société AXA afin d'évaluer l'exposition de ses portefeuilles.

Le premier champ d'application choisi pour appliquer les concepts liés au géodécisionnel concerne l'analyse de l'efficacité et de la pertinence des mesures de prévention déployées dans les communes à risque sur tout le territoire. Cela repose sur une étude des besoins collectifs pour l'intérêt général de la profession qui souhaite disposer d'indicateurs pertinents pour construire un avis critique constructif sur le déploiement de la politique de prévention à l'échelle nationale. Il est nécessaire d'une part de comparer l'avancement des procédures administratives avec l'évaluation de l'exposition des logements, et d'autre part d'étudier l'urbanisation des zones réglementées dans les communes concernées. Ce processus nécessite de pouvoir analyser dans l'espace et dans le temps les indicateurs et de pouvoir les décliner suivant plusieurs axes thématiques et plusieurs échelles depuis le détail d'une parcelle jusqu'à la synthèse au niveau national. Le deuxième axe de travail se concentre sur les besoins individuels d'une société d'assurance au travers de l'évaluation des dommages potentiels des inondations sur ses portefeuilles d'assurés. Il s'agit de procéder à l'intégration des données provenant de la souscription, de la sinistralité et des modélisations hydrauliques, hydrologiques ainsi que des fonctions d'endommagement permettant d'établir un modèle

d'analyse de dommages potentiels sur des portefeuilles de contrats distribués géographiquement sur le territoire à l'échelle d'un ou plusieurs bassins versants.

La structuration du manuscrit

L'objet de la thèse est d'évaluer l'apport potentiel du géodécisionnel, aussi bien sur un plan méthodologique que technologique, pour proposer des réponses aux attentes des sociétés d'assurance en matière d'analyse et de communication sur les risques naturels.

Le manuscrit est composé de deux parties : la première décrit l'état de l'art des besoins du secteur de l'assurance et des outils disponibles sur le marché français puis présente l'état des savoirs et des connaissances sur le géodécisionnel en illustrant la méthodologie au travers d'un exemple concret issu de la problématique, la seconde présente le travail de modélisation et les premiers résultats de prototypes exploratoires entamés sur des études de cas en s'appuyant sur la technologie Spatial OLAP (SOLAP) mise au point au Centre de Recherche en Géomatique (CRG) sous la direction du professeur Yvan Bédard, s'inscrivant pleinement dans le domaine du géodécisionnel.

La première partie présente l'état de l'art de la problématique de l'assurance des risques naturels en France. Elle se décompose en deux chapitres :

- Le premier chapitre a pour objet de présenter les besoins et les attentes du secteur de l'assurance en France dans le domaine des risques naturels. Il s'agit de cerner un contexte général où l'assurance est l'un des acteurs principaux.
    - Le premier sous-chapitre présente des éléments permettant de comprendre les conséquences des risques naturels en se focalisant sur les raisons de la complexité de maîtriser ces risques tant au niveau de la vulnérabilité des territoires qu'au niveau de l'exploitabilité des données permettant d'apprécier et d'évaluer les risques. Il s'agit d'un panorama français et international.
    - Le deuxième sous-chapitre présente l'assurance des risques naturels en France et la position des assureurs dans le système d'acteurs. Un focus est fait sur le fonctionnement du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles et les mécanismes de prévention mis en place par l'Etat et par l'assurance auprès des citoyens et des assurés. Le point de vue assurantiel est étudié sous l'angle des interactions des assureurs avec les autres acteurs parties prenantes à savoir les pouvoirs publics, les assurés et les réassureurs.
    - Le troisième sous-chapitre présente les outils actuellement utilisés sur un plan opérationnel par le secteur de l'assurance répondant aux besoins collectifs et aux besoins individuels de chaque société. On voit notamment qu'il existe des outils d'inventaire ou des banques d'accès aux données cartographiques destinées aux professionnels (pas seulement ceux de l'assurance), des outils de modélisation et des outils de diagnostic spécifiques aux métiers de l'assurance et de la réassurance. Un outil opérationnel de pré diagnostic a été développé au sein du laboratoire et ce par le doctorant pendant la durée travail de thèse pour le compte de la MRN et s'inscrit dans cette liste.

- Enfin le quatrième sous-chapitre dresse le bilan des attentes du secteur en termes de fonctionnalités et de technologie. Des grandes catégories ont été identifiées comme la modélisation de dommages pour la réassurance, l'aide à la communication avec les parties prenantes mais aussi des besoins purement opérationnel liés aux processus métiers tels que la souscription ou la gestion des sinistres.

- Le deuxième chapitre présente les fondements méthodologiques et technologiques de l'approche géodécisionnelle. Ce chapitre se veut pédagogique et illustre au travers d'exemples simples comment les fondements peuvent se transposer au domaine de l'assurance des risques naturels.
    - Le premier sous-chapitre présente les concepts et les définitions liés au décisionnel. En effet afin de comprendre la pertinence du géodécisionnel il est important de rappeler ce qu'est le décisionnel et l'utilisation qui en est faite dans les entreprises. Sont présentés dans un premier temps la définition et les éléments d'architecture applicative et technique puis dans un second temps la méthode de modélisation multidimensionnelle en l'appliquant à un exemple de cas d'étude sur l'exposition des portefeuilles d'assurés aux inondations.
    - Le deuxième sous-chapitre traite du géodécisionnel vu comme une extension spatiale du décisionnel. Il s'agit dans un premier temps de donner une définition du terme de "géodécisionnel" avec la description des besoins fonctionnels couverts et les concepts clés associés. Dans un second temps on présente la modélisation spatiale multidimensionnelle au travers d'un prolongement du cas d'étude traité sur le modèle utilisé dans l'illustration du décisionnel.

La seconde partie traite de la phase dite de modélisation et de conception du travail de thèse. Cette partie s'organise en deux chapitres ; le premier chapitre décrit le travail de modélisation c'est-à-dire la méthodologie d'analyse de la problématique autour de trois cas d'étude, le second chapitre illustre les résultats des travaux d'ingénierie menés sur les cas d'étude modélisés.

- Le troisième chapitre détaille les étapes de la méthode de modélisation conçue pour répondre à la problématique de l'assurance des risques naturels aussi bien selon une approche dite « collective » (pour l'intérêt général du secteur) que selon une approche « individuelle » (pour une société en particulier). L'idée est de partir de besoins exprimés ou suggérés pour aller jusqu'à la réalisation de modèles. Un certain nombre d'hypothèses ont du être formulées (essentiellement concernant l'exhaustivité et l'homogénéité des données) pour rendre possible le travail de modélisation.
    - Le premier sous-chapitre expose le travail de modélisation spatiale multidimensionnelle sur le cas de l'évaluation des mesures préventives. Deux cas d'étude sont présentés à savoir l'évaluation de la pertinence et de l'avancement des mesures préventives (notamment évaluer si les communes choisies pour appliquer les mesures de prévention sont celles qui sont les plus exposées), l'évaluation de l'efficacité de la mise en application des mesures préventives (notamment évaluer si les règlementations d'urbanisme sont bien

respectées à l'intérieur des communes à risque). L'aléa traité dans ces cas d'étude est l'inondation.

  - Le deuxième sous-chapitre expose le travail de modélisation pour l'évaluation de l'exposition financière d'une société d'assurance face aux inondations. L'étude se focalise sur le problème de l'évaluation des dommages sur les différents types de portefeuilles de contrat d'assurés dont les sites et les biens assurés peuvent être géolocalisés.

- Le quatrième chapitre présente les résultats des premiers prototypes réalisés avec la technologie JMAP-SOLAP sur les cas d'étude décrits dans le chapitre précédent.
  - Le premier sous-chapitre présente l'architecture de JMAP-SOLAP et l'ensemble des fonctionnalités de paramétrage des applications géodécisionnelles via une console d'administration puis les principes de restitution. La technologie JMAP-SOLAP a été choisie car elle fait l'objet à la fois de méthode de conception validée scientifiquement depuis plusieurs années au sein du Centre de Recherche en Géomatique mais aussi parce qu'une structure de commercialisation garantit le support et la maintenance. Par ailleurs la courbe d'apprentissage de cet outil n'est pas très longue et des interfaces web permettent de rapidement monter en compétence.
  - Le deuxième sous-chapitre présente l'architecture de la chaîne de traitements informatiques mise en place dans le cadre des travaux de prototypage. Cette chaîne constitue une transposition des traitements réalisés dans le domaine de l'informatique décisionnelle depuis l'extraction des données jusqu'au chargement des structures de données finales en intégrant les particularités liées aux données à mobiliser pour la problématique.
  - Le troisième sous-chapitre présente la partie restitution et analyse du point de vue de l'utilisateur final. Le prototypage réalisé au cours du travail de thèse est de type exploratoire et ne présente donc pas de résultats probants, exhaustifs. Le positionnement est de présenter des illustrations de ce qui a été effectivement réalisé à l'aide de la technologie SOLAP et de combiner avec des exemples de navigation possibles au travers du même prototype étendu et compléter pour l'ensemble du territoire national. Les apports métiers concrets pouvant découler de l'utilisation opérationnelle de ce type d'interface sont aussi présentés.

La conclusion générale du manuscrit dresse une synthèse sur les acquis du travail de thèse puis présente un bilan sur les limites de ce travail (aussi bien organisationnelles que technologiques), enfin on esquisse les grandes lignes des perspectives à moyen terme pour les travaux de recherche opérationnelle à mener autour de cette problématique. Cette conclusion est aussi l'occasion de resituer le travail de thèse dans son contexte avec un travail opérationnel et contractuel vis-à-vis de la MRN pour mener à bien la réalisation d'un géoportail sur les risques aujourd'hui utilisé par de nombreux professionnels de l'assurance (témoignant d'un effort certain d'appropriation du secteur des données géographiques sur les risques naturels) qui a permis d'alimenter la réflexion sur le géodécisionnel présentée dans le présent manuscrit.

CHAPITRE I.
LES BESOINS ET LES ATTENTES DU SECTEUR DE L'ASSURANCE DANS LE PROCESSUS DE GESTION DES RISQUES NATURELS

Ce chapitre a pour objet de présenter les besoins du secteur de l'assurance en termes d'outils pour répondre aux problématiques posées par le contexte réglementaire et conjoncturel de l'assurance des catastrophes naturelles. Il s'agit de poser les fondements de la problématique et de cerner les attentes du secteur auxquelles le présent manuscrit souhaite apporter des réponses méthodologiques et technologiques. Pour cela il est important de présenter le rôle de l'assurance dans le système d'acteurs institutionnels en charge de se coordonner pour faire face à des événements catastrophiques. Ce système d'acteurs est complexe car il fait intervenir à la fois des acteurs financiers, des acteurs administratifs et politiques et des citoyens. Cette problématique est d'autant plus complexe qu'elle fait appel à des disciplines transverses comme le droit, la science, la technologie et l'économie.

Dans un premier temps ce chapitre va s'attacher à présenter le problème général des catastrophes naturelles à l'international et en France. Il convient de rappeler quelques chiffres clés sur les conséquences des événements catastrophiques sur la société civile comme sur le secteur de l'assurance. Le concept de vulnérabilité est utilisé par la communauté scientifique travaillant sur la modélisation des risques naturels pour définir les personnes, les biens et les organisations susceptibles d'être touchés par un ou plusieurs aléa (en l'occurrence il s'agit ici d'aléas naturels).

Dans un deuxième temps il s'agit de formaliser le rôle de l'assurance dans un système d'acteurs intervenant dans un contexte réglementaire (le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles). Une présentation des besoins est faite en distinguant les besoins "collectifs" pour la profession dans son ensemble consistant pour l'essentiel à interagir avec les parties prenantes du système (les pouvoirs publics, les sociétés de réassurance et les assurés) et les besoins "individuels" opérationnels d'une entreprise d'assurance consistant à optimiser les processus métiers tels que la souscription et la gestion des sinistres.

Dans un troisième temps il est présenté l'état de l'art des méthodes et des outils disponibles permettant aux assureurs d'analyser et de piloter leur activité au regard de ces risques. On distingue trois catégories d'outils : des outils d'inventaires mettant à disposition des données sur les aléas et sur la vulnérabilité, des outils d'analyse de cumuls de risques essentiellement dédiés à l'évaluation de montants de réassurance, et enfin des outils de diagnostic ou de pré diagnostic permettant de connaître la situation de l'exposition à l'aléa à différentes mailles géographiques.

Enfin il s'agit d'exprimer les attentes en termes de fonctionnalités pour répondre de façon précise aux attentes des professionnels de l'assurance sur la problématique.

I.1. Eléments de contexte sur les risques naturels

Il est important de rappeler quelques éléments de contexte pour comprendre dans quel environnement conjoncturel évolue le secteur de l'assurance sur le sujet des risques naturels. Ce contexte est marqué par une augmentation de la vulnérabilité des biens et des personnes se traduisant par une augmentation des coûts des catastrophes. Cette augmentation se conjugue avec un ensemble de lois et de directives visant à garantir un équilibre économique global. Le contexte réglementaire est en évolution non seulement en France puisque plusieurs rapports témoignent de réformes attendues du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles mais aussi au niveau européen par une obligation à terme (horizon 2010) pour chaque entreprise d'assurance de démontrer leur solidité financière en cas de survenance de plusieurs des événements catastrophiques.

I.1.1. Augmentation des coûts des catastrophes naturelles et une vulnérabilité accrue

I.1.1.i. L'augmentation des coûts

A l'échelle mondiale ces dernières années ont été marquées par des événements remarquables comme le cyclone Katrina en Louisianne survenu en 2005, le séisme au Pakistan en 2005, le Tsunami en Indonésie survenu en 2004 mais aussi par les inondations majeures survenues en Europe centrale sur le bassin du Danube en 2006. Les années 2006 et 2007 ont certes été moins coûteuses en vies humaines et en dommages en comparaison avec les années 2005 (97 000 morts et 200 milliards de dollars de dommages) et 2004 (87 000 morts et 145 milliards de dollars) mais on note tout de même une courbe des dommages en évolution croissante depuis les années 50. C'est ce que montre la figure 1 extraite du rapport annuel Topics Geo de la Munich Ré sur les catastrophes naturelles [MunichRe, 2006].

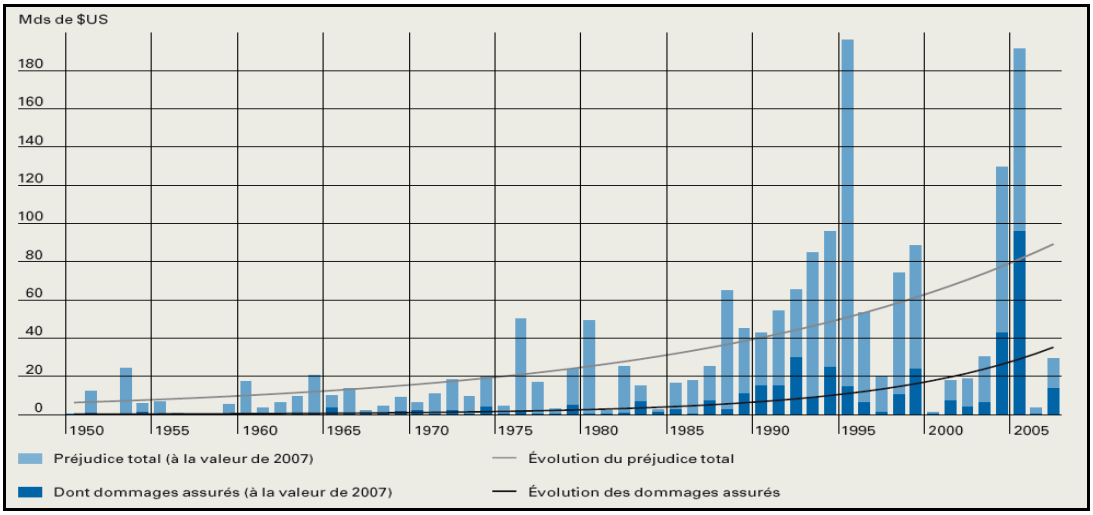


Figure 1 - ***Evolution des dommages des catastrophes naturelles depuis 1950 jusqu'à 2006 (extrait de [MunichRe, 2006])***

Le bilan des années 2007 fut marqué par des événements cycloniques comme le cyclone Gonu qui a balayé la mer d'Arabie et détruit des installations infrastructurelles ainsi que d'importants dommages matériels (650 millions de $US), des tempêtes se sont produites en Europe (Grande Bretagne et reste de l'Europe) causant environ 15 milliards de $US en pertes assurées et enfin l'Inde et le Bangladesh ont été touchés par le cyclone Sidr ayant engendré la disparition de 3500 personnes. L'année 2007 fut marquée par une inondation historique au Mexique avec 1 million de personnes sinistrées. Il reste cependant un constat certain : il est difficile de tirer des conclusions sur l'augmentation du nombre et de l'intensité des événements d'origine naturelles dans le temps mais en revanche il y a une tendance à l'augmentation des préjudices économiques et des dommages assurés. L'impact des événements naturels sur les biens et les populations augmente en sévérité.

En France le constat est le même sur ces dernières années ; il y a bien une augmentation du coût des catastrophes. Les inondations, les coulées de boues et la sécheresse représentent les premiers périls tant au niveau du nombre d'arrêtés de catastrophes naturelles qu'au niveau du nombre de Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles (PPR). Les événements causés par des inondations ont coûté 7,8 milliards d'euros, la sécheresse 3,5 et les mouvements de terrain 1,3 depuis le début du régime CatNat en 1982 [Prim.net, 2005]. L'augmentation du coût des catastrophes se traduit par une diminution du montant des réserves de la Caisse Centrale de Réassurance (CCR) en charge de la réassurance du régime CatNat. Certes les fonds en réserve (désignés sous le terme « provisions d'égalisation ») sont très importants mais ils restent tout de même en baisse régulière depuis quelques années ce qui traduit une augmentation de la sinistralité (cf. figure 2). C'est ce qu'indique la courbe suivante (le pic de 2001 sur la courbe s'explique par la réévaluation à la hausse du taux de surprime pour tous les assurés).

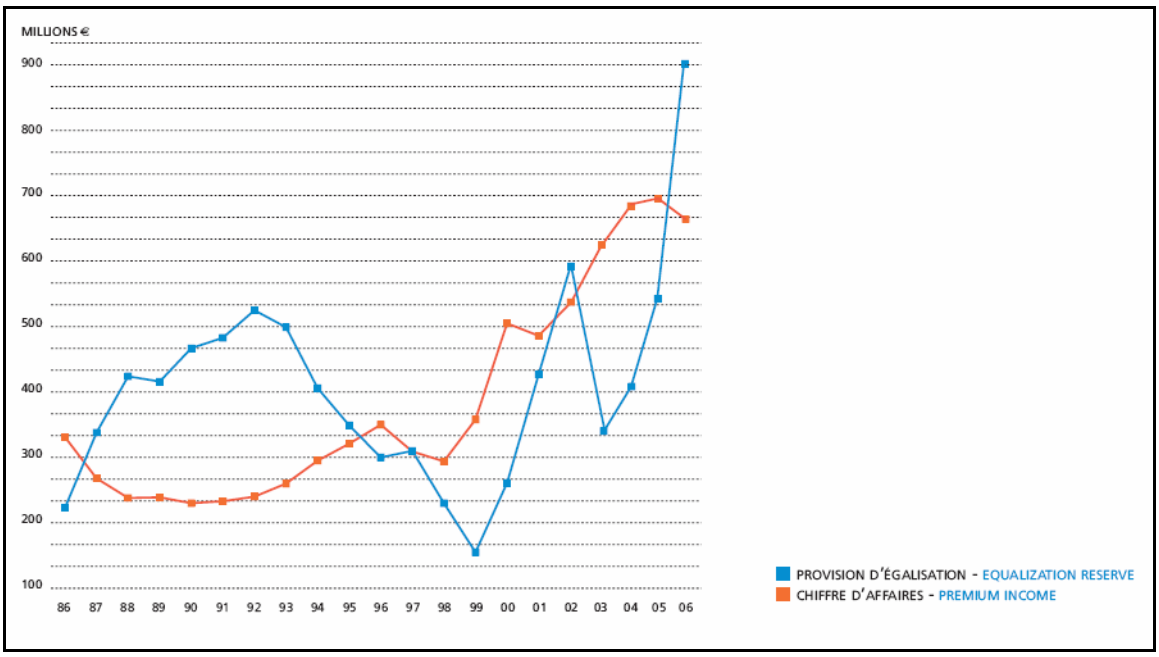


Figure 2 - Evolution des provisions d'égalisation de la CCR (extrait du rapport annuel [CCR, 2007])

Concernant le bilan des sociétés d'assurance on constate aussi une augmentation des conséquences financières comme le montre la courbe retraçant l'évolution des indemnités versées par les sociétés d'assurance depuis le début du régime Catnat en 1982 jusqu'en 2005 (cf. figure 3).

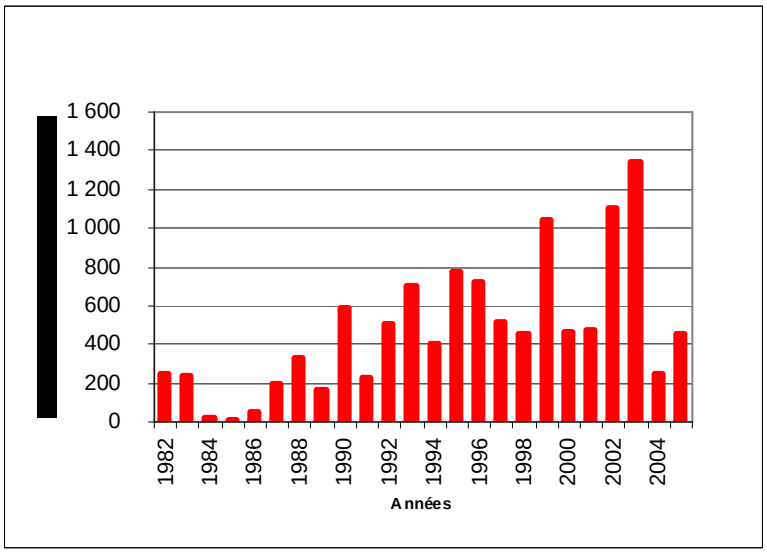


Figure 3 - Evolution des indemnités versées par les assureurs depuis 1982 [FFSA, 2007]

On note que la forme de la courbe de la figure 2 suit la même tendance que celle de la Munich Ré sur les coûts des dommages au niveau mondial ; en France comme à l'étranger les montants des dommages assurés sont en augmentation. Ce bilan est présenté avec vigueur dans la mission d'enquête conjointe de l'Inspection Générale des Finances, du Conseil Général des Ponts et Chaussées et de l'Inspection générale de l'Environnement [IGF CGPC IGE, 2006].

« *L'observation de la période 1989-2003 montre que la charge de sinistres pour le marché (de l'assurance) suit spontanément une tendance à la hausse d'environ 5,3% en moyenne par an en euros courants, résultant à la fois de l'augmentation du nombre de sinistres (environ 2,8% par an) et de leur coût moyen (2,5% par an). Cette progression rapide est d'autant plus préoccupante que son rythme excède de près de 1 point le taux spontané d'augmentation des encaissements de primes, qui est de 4,1% par an en moyenne d'après les estimations de la mission* »

Comme pour la courbe de la figure 2, pour chaque pic de l'histogramme de la figure 3 un ou plusieurs événements naturels remarquables se sont produits ; ainsi le pic de 1999 s'explique par la tempête de décembre 1999 qui a balayé tout le territoire national, le pic de 2002 s'explique par l'inondation du Gard ou encore le pic de 2003 s'explique par la sécheresse géotechnique et la crue du Rhône. L'augmentation de la sinistralité s'explique aussi par l'augmentation du nombre de primes d'assurance collectées annuellement, une augmentation des montants assurés. C'est ce que met en évidence le graphique de la figure 4 extrait de la conférence de presse annuelle de la FFSA en 2008 présentant les résultats du marché de

l'assurance [FFSA, 2008] ; on assiste à une progression constante de l'assurance de biens en France, (tendance confirmée dans les pays occidentaux (Europe, Etats-Unis)).

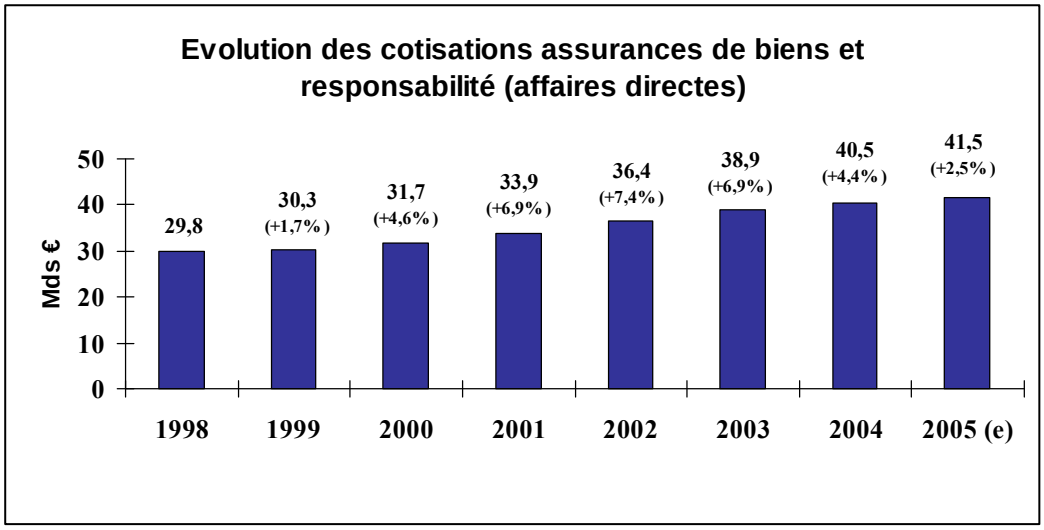


Figure 4 - Evolution des cotisations assurance de biens et responsabilité depuis 1998 (source [FFSA, 2006])

En ce qui concerne les sinistres causés par les catastrophes naturelles, c'est la concentration de biens assurés dans des zones géographiques exposées aux aléas naturels qui menace potentiellement la santé financière des sociétés d'assurances. Cette tendance est accentuée par le phénomène d' « anti-sélection » où ce sont en priorité les gens les plus exposés à des risques qui cherchent à s'assurer.

Les inondations représentent le risque naturel le plus menaçant en France pour le secteur de l'assurance. En effet, celles-ci sont fortement génératrices de dommages aussi bien matériels qu'humains ; lors des inondations de la Somme en 2001 la charge des sinistres assurés fut de 100 millions d'euros ; plus de 3500 habitations ont été inondées et près de 200 entreprises inondées [Expertise Somme, 2001]. Comme le montre l'exemple de la crue du Rhône en 2003, l'étendue géographique d'une crue peut être très importante avec près de 1200 communes touchées et des dégâts évalués à 800 millions d'euros de dommages [FFSA, 2004]. D'autres exemples viennent illustrer les conséquences exceptionnellement dévastatrices des inondations comme les crues torrentielles de Nîmes en 1988 avec près de 300 millions d'euros d'indemnités ou encore les inondations de 1990 dans la moitié nord de la France où les assureurs ont versé 250 millions d'euros. Par ailleurs des événements potentiels pourraient mettre en péril le régime actuel d'assurance des risques naturels en France : à ce titre on peut citer la simulation de la crue de la Seine (équivalente à celle de 1910) avec un coût évalué entre 8 et 12 milliards d'euros et qui toucherait 880 000 personnes, ou encore la simulation de la crue de la Loire (équivalente celle de 1856) qui toucherait 300 000 personnes et 13 600 entreprises.

La distribution géographique des biens assurés dans les zones à risque a fait l'objet de nombreuses études à l'image de celles menées par la MRN dans le cadre de la réalisation d'un

observatoire de la vulnérabilité à destination des professionnels de l'assurance. Des méthodes mises au point à partir de croisements de données géographiques sur les aléas et de données statistiques sur les logements (provenant de l'INSEE) ont permis de fournir des premiers indicateurs sur l'exposition des habitations en particulier sur les inondations. Les résultats montrent notamment qu'il y a environ 1,7 millions de logements en zone inondable : des régions comme le Languedoc Roussillon, où le risque inondation est un des plus importants en France. L'urbanisation des zones inondables est en constante augmentation depuis 1990 jusqu'à maintenant comme le montre le tableau 1 sur les logements, les entreprises et les infrastructures publiques ou les zones agricoles.

Proportions en zone inondable						
		11	30	34	48	66
1990	Logements	16%	37%	14%	15%	29%
	Entreprises	11%	25%	18%	3%	41%
	Urbanisation	17%	31%	15%	21%	34%
2000	Logements	20%	41%	15%	16%	36%
	Entreprises	14%	33%	16%	4%	37%
	Urbanisation	18%	32%	15%	21%	33%
Tendance	Logements	↗	↗	↗	↗	↗
	Entreprises	↗	↗	↘	↗	↘
	Urbanisation	↗	↗	=	=	↘
2010		?				

Tableau 1 - Exposition aux inondations pour tous les départements du Languedoc Roussillon (11, 30, 34, 48 et 66) [Chemitte, 2007]

La sécheresse est la deuxième menace naturelle la plus coûteuse pour le secteur de l'assurance. Pour illustrer ce phénomène l'événement de sécheresse géotechnique survenu durant l'été 2003 a été évalué à 1,5 milliard d'euros à la charge des assureurs [FFSA, 2007]. Depuis l'entrée en vigueur du régime d'assurance des catastrophes naturelles, les assureurs ont réglé quelques 11 milliards d'euros à leurs assurés. Celui-ci fait l'objet d'une réflexion particulière due à l'étalement dans le temps des conséquences des retraits et gonflements des argiles sur les constructions. Il a été identifié qu'il fallait traiter ce risque de manière différenciée.

Dans la typologie des dommages on distingue :

- les dommages directs : ce sont les dommages causés directement sur les biens, les infrastructures et les personnes. Ceux-ci sont les conséquences physiques et matérielles d'un événement.
- les dommages indirects : ce sont les dommages conséquents aux dommages directs. Il s'agit des préjudices économiques résultant par exemple de l'arrêt de l'activité d'une entreprise ou d'une infrastructure : par exemple les pertes économiques d'une entreprise engendrées par l'arrêt d'activité suite à la submersion, l'effondrement d'une

usine, la destruction d'une machine de production ou de toute autre ressource clé. La perte d'image et de notoriété peut aussi être un dommage indirect pour les grands groupes lorsque ceux-ci n'ont pas pris les mesures adéquates avant, pendant et/ou après la crise.

Les dommages indirects représentent un préjudice économique qui peut dans la majorité des cas être couvert par les produits d'assurance dommages pour les entreprises. Ainsi le secteur économique et industriel représente une part importante des dommages ; sur les crues du Rhône en 2003 la part des dommages directs et indirects sur le secteur économique fut de 367,2 millions d'euros [FFSA, 2004]. Dans le Gard en 2002 se sont près de 3000 entreprises qui ont été sinistrées. Les portefeuilles d'entreprises assurées sont une source de vulnérabilité pour une société d'assurance. Le tissu local des PME-PMI est particulièrement vulnérable, comme exposé dans le travail de thèse de Paul Mengual sur le sujet des inondations [Mengual, 2006]. Les grandes entreprises ne sont pas pour autant épargnées par les catastrophes naturelles.

Voici quelques exemples relevés dans la presse des conséquences de catastrophes naturelles en France et à l'étranger sur des grands groupes ayant connu des préjudices économiques ou bien des préjudices immatériels comme la perte d'image :

- DAIMLER CHRYSLER : en octobre 1999 des inondations suite à l'ouragan Floyd en Caroline du Nord ont occasionné la fermeture pendant 7 jours d'une usine et la perte de 28 000 unités de production ;
- GROUPE ACCOR : le Sofitel Khao Lak a été dévasté par le Tsunami de 2004 près de l'île de Phuket : 145 clients et 45 employés ont disparu dans la catastrophe. Les familles françaises des victimes ont déposé une plainte reprochant l'absence de mise en place de système d'alerte et de plan d'actions en cas de crise ;
- Le Club Méditerranée : trois villages de vacances ont été submergés par le Tsunami les conséquences ont été évaluées à 15 millions d'euros. Les trois sites représentant environ 30 % des capacités du groupe de loisirs pour la zone Asie-Pacifique, et 5 % de ses capacités totales. (source les Echos) ;
- LAFARGE : la totalité de l'usine de l'île de Phuket fut dévastée par le Tsunami avec 197 employés disparus ;
- HARIBO : l'exemple de l'usine Haribo touchée par la crue de l'Alzon a perdu 200 tonnes de matière première. L'équivalent de 4 millions d'euros, soit 1/25e du chiffre d'affaires annuel d'Haribo France. (source EPTB Rhône).

I.1.1.ii. L'accroissement de la vulnérabilité

A la lecture de ces dommages matériels et immatériels, on constate qu'il y a un phénomène d'accroissement de la vulnérabilité. De nombreux scientifiques ont amorcé des réflexions pour mettre en évidence les facteurs permettant d'expliquer cette tendance autour de la vulnérabilité.

Différents courants se sont constitués pour tenter de définir le concept de vulnérabilité. Classiquement la vulnérabilité désigne le niveau des dommages ou des pertes de toute nature que pourrait engendrer directement ou indirectement la survenance d'un aléa. [Mauro, 1993]

et [Veyret et al., 2005] suggèrent la notion de fragilité territoriale et contextuelle de la société par rapport à des aléas. La vulnérabilité est vue comme un ensemble de dommages potentiels. Cela suggère des problèmes amont sur les modes de gestion, des processus de décisions inadaptés et des problèmes avals sur la capacité de gérer la crise et de retrouver un fonctionnement normal du territoire. La vulnérabilité désigne aussi la capacité de la société à faire face aux aléas [D'Ercole, 1994] ce qui implique de considérer d'une part la préparation de la société aux risques (l'avant) et d'autre part les effets sur le long terme d'un événement potentiel (l'après) autant sur le territoire que sur l'organisation sociale. Afin de pouvoir mesurer cette vulnérabilité il est nécessaire de prendre en compte la dynamique spatio-temporelle du risque c'est-à-dire non seulement d'étudier la dynamique géographique de l'aléa mais aussi la répartition territoriale de la vulnérabilité.

Ainsi différents facteurs essentiels sont mis en avant pour l'étude de la vulnérabilité aux risques naturels :

- la densité des populations et des bâtis ;
- les facteurs techniques liés à la qualité des constructions et des ouvrages de protection ou d'évacuation et de traitements des eaux par exemple ;
- les éléments sociaux-économiques caractérisés par les modes d'occupation du sol, la ségrégation sociale, la fragmentation spatiale ;
- les facteurs culturels concernant la connaissance ou l'ignorance du niveau de danger
- les facteurs institutionnels et politico-administratifs concernant l'absence de politique de prévention ou l'absence de programme de planification urbaine.

La mesure et l'évaluation de la vulnérabilité passent forcément par des outils de mesures et d'analyse géographique des enjeux et de l'aléa. La vulnérabilité est le résultat du croisement de données quantitatives sur les aléas et de données quantitatives et qualitatives sur les enjeux exposés [Leone et al., 2006]. [Mengual, 2006] revient dans sa thèse sur l'ensemble des approches touchant à la mesure de la vulnérabilité. Il distingue des approches quantitatives sur l'évaluation des enjeux comme des méthodes visant à construire des matrices d'endommagements [Leone, 1996] en fonction de l'intensité de l'aléa et des caractéristiques des enjeux, ou encore comme [Torterotot, 1993] introduisant la notion de coût et une tentative de mesurer les coûts indirects et des méthodes qualitatives sur les enjeux comme [Daanish, 1998] qui prend en compte l'environnement social au-delà de la simple mesure de l'exposition.

Le schéma de la figure 5 représente l'approche utilisée par Mengual dans son analyse de la vulnérabilité sur les PME/PMI face aux inondations.

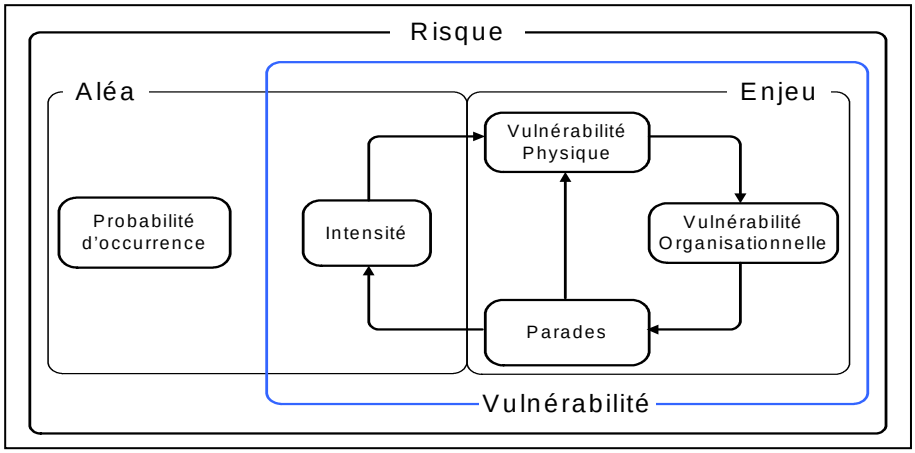


Figure 5 - Concept de vulnérabilité dans l'évaluation du risque [Mengual, 2005]

Ce schéma illustre bien les composantes de l'analyse de la vulnérabilité : la confrontation de données permettant de qualifier l'intensité d'un aléa avec des données permettant de caractériser les enjeux, c'est-à-dire les biens exposés à l'aléa. C'est le résultat de ces croisements qui permet d'obtenir une première analyse de la vulnérabilité. Plus les données sont précises et détaillées du côté de l'aléa comme du côté de l'enjeu et plus l'analyse sera pertinente et fiable.

Si l'on transpose à l'analyse de la vulnérabilité par le secteur de l'assurance, comme décrit dans la figure 6 extraite de [Head, 2003] :

- les enjeux : les biens exposés à la perte, les lieux de risque assurés ;
- l'aléa : le péril provoquant la perte, les critères physiques des aléas naturels ;
- la vulnérabilité : le niveau d'endommagement potentiel engendré par l'aléa sur les enjeux ;
- les pertes : la gravité des pertes financières potentielles.

Figure 6 - Analyse de la vulnérabilité vue par le monde de l'assurance

En synthèse, l'étude de la vulnérabilité relève d'une estimation des dommages et des pertes potentielles au regard de la répartition territoriale des enjeux et des aléas sur le territoire. Cette estimation peut être pondérée par des facteurs sociaux, politiques ou administratifs locaux qui peuvent soit aggraver soit atténuer les conséquences des catastrophes par la mise en œuvre de mesures de mitigation et de prévention. Il est donc important non seulement de se doter

d'outils de mesures efficaces des valeurs et des biens exposés mais aussi d'outils permettant d'analyser la situation contextuelle locale au regard du risque (mises en place et effectivité des mesures préventives, information des citoyens, avancement des procédures administratives pour la prévention et état de la réglementation des mesures préventives).

L'accroissement de la vulnérabilité touche indirectement le secteur de l'assurance. Si les sociétés d'assurance n'intègrent pas l'analyse de la vulnérabilité territoriale des biens et des personnes au regard des risques naturels, celles-ci s'exposent à des pertes financières non maîtrisées et non prévues. Comme le souligne la mission d'enquête [IGF IGE CGPC, 2006] un des objectifs prioritaires est de contribuer à diminuer la vulnérabilité économique aux risques naturels.

« Freiner l'augmentation de la vulnérabilité économique aux risques naturels, sous l'effet de la pression urbaine et des phénomènes d'augmentation et de concentration de la valeur assurée, doit devenir dans ces conditions une priorité ».

Pour bien comprendre les leviers d'actions pour la réduction de la vulnérabilité il convient de présenter le contexte réglementaire de la mise en œuvre des mesures de prévention sur le territoire national.

I.1.2. La prévention des risques naturels en France

I.1.2.i. La politique de prévention des risques naturels en France

La politique de prévention des risques naturels en France s'est construite au fil du temps. La première étape consistait à construire des ouvrages de protection contre les inondations essentiellement au travers de digues. La loi du 28 mai 1858 faisant suite aux crues catastrophiques de 1856 fonde l'action de l'Etat en ce qui concerne la mise à l'abri des villes de France. L'un des objectifs était de délimiter les contours des zones submersibles. Des réseaux d'alertes avaient déjà à l'époque été créés. Il a fallu attendre 1955 pour voir apparaître des modifications dans le code de l'urbanisme visant à refuser les permis de construire si les constructions mettent en péril la sécurité civile ou enfin de subordonner à des prescriptions spéciales les constructions dans les zones exposées à un risque (article R111-2 et R111-3).

C'est en 1982 que fut votée la loi n°82-600 relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles dont l'objectif est de tenter de prendre en compte d'une manière globale la chaîne du risque par l'urbanisation, l'information et l'organisation des secours. Cette loi institue le système d'indemnisation fondé sur les principes d'obligation d'assurance et de mutualisation du risque. La garantie est couverte par une prime additionnelle calculée à partir d'un taux (12%) appliqué au montant de la prime d'assurance des contrats de certains types. Des biens peuvent être exclus de ce système par les assureurs sous des conditions très strictes (article L125-6 du code des assurances).

La loi institue les Plans d'Exposition aux Risques naturels prévisibles (PER). Ces plans doivent prescrire l'interdiction de construire dans les zones les plus exposées, la limitation de construire dans les zones moins exposées sauf observation de prescriptions spéciales, et la

diminution de la vulnérabilité des constructions existantes. Puis la loi n°87-565 du 22 juillet 1987 vient compléter celle de 1982 en ajoutant des dispositions pour l'organisation de la sécurité civile en mettant en place le droit à l'information des citoyens sur les risques auxquels ils sont exposés. Le préfet fait réaliser et publie les documents d'information sur les risques : le dossier départemental sur les risques majeurs (DDRM) et le dossier communal synthétique (DCS); le maire établit le document d'information des citoyens : le dossier d'information communal sur les risques majeurs (DICRIM). Il s'agit de l'information préventive pour les zones comportant des enjeux humains ; cela concerne les communes considérées à risque par l'Etat parce qu'elles ont déjà connues des catastrophes naturelles ou bien parce qu'elles sont particulièrement exposées. Au total cela représente 21 796 communes avec la décomposition présentée dans le tableau 2 extrait de la mission d'enquête [IGF IGE CGPC, 2006].

Nature de risque	Nbre de communes concernées	avec enjeu humain	enjeu humain à définir	sans enjeu humain
Inondation	16 113	6 869	6 810	2 434
Mouvement de terrain	7 623	2 322	4 453	848
Sécheresse	761	2	756	3
Feux de forêt	5 630	1 751	2 477	1 402
Séisme	5 950	5	46	
Avalanche	629	218	224	187
Cyclone/Tempête	316	121	179	16
Volcan	47	21	12	14

Tableau 2 - Exposition des communes aux risques naturels (extrait de [IGF IGE CGPC, 2006])

Enfin la loi n° 95-101 du 2 février 1995 (loi Barnier) relative au renforcement de la politique de l'environnement est consacrée à la prévention des risques naturels. Elle institue un fond de prévention prélevé à hauteur de 2% sur la surprime CAT-NAT et est dédié à l'expropriation d'habitations représentant un danger de mort pour les habitants. Elle institue aussi les Plans de Prévention des Risques qui remplacent les anciens PER pour ce qui concerne l'urbanisation des zones à risque. Ces plans sont modulables car ils peuvent ne s'intéresser qu'à un seul risque ; ils sont souples car ils peuvent ne comporter que des prescriptions relatives aux constructions projetées quitte à s'intéresser dans un second temps aux constructions existantes. C'est l'État qui élabore et met en application les Plans de Prévention des Risques (PPR) qui ont pour objet :

" *de délimiter les zones exposées aux risques, dites "zones de danger", en tenant compte de la nature et de l'intensité du risque encouru, d'y interdire tout type de construction… ou, dans le cas où des constructions, …, pourraient y être autorisées, prescrire les conditions dans lesquelles elles doivent être réalisées, utilisées ou exploitées ; De délimiter les zones, dites "zones de précaution", qui ne sont pas directement exposées aux risques mais où des constructions, des ouvrages, …, pourraient aggraver des risques ou en provoquer de nouveaux et y prévoir des mesures d'interdiction ou des prescriptions ; "De définir les*

mesures de prévention, de protection et de sauvegarde qui doivent être prises, dans les zones ci-dessus ; De définir, dans les zones ci-dessus ..., les mesures relatives à l'aménagement, l'utilisation ou l'exploitation des constructions, des ouvrages, des espaces," [Guide PPR, 1997].

Les PPR constituent un pilier essentiel de la politique de prévention en France puisqu'ils sont de servitude d'utilité publique et doivent être annexés au Plan Local d'Urbanisme. Cela signifie que le PPR a une valeur juridique réglementaire et que des recours en justice sont possibles en cas de non respect de son application. Le PPR est l'outil central de la prévention dans l'urbanisation des zones à risques. Comme le souligne [Godfrin, 2008], le PPR est considéré par les articles du Code de l'Urbanisme comme un document d'urbanisme ce qui montre bien l'importance de cet outil dans la maîtrise de l'urbanisation dans les zones exposées aux risques naturels. Le PPR réglemente les implantations futures et le bâti existant.

Concernant les implantations futures, il s'agit de distinguer les zones les plus exposées pour lesquelles il y a interdiction de construire et pour les zones moins exposées où la construction peut être autorisée sous réserve de respecter certaines conditions du code de l'environnement (Article L 562-1-II-1°). L'article L125-6 du code des assurances indique que les entreprises d'assurance ne sont pas dans l'obligation d'assurer les nouvelles constructions dans les terrains reconnus comme inconstructibles [L125-6, 2003]. Ainsi, le PPR peut imposer une réglementation pour toute construction nouvelle, toute extension de construction existante ou toute réalisation d'aménagements ou d'ouvrages, pour chacune des zones délimitées en fonction du type de risque. Cette réglementation est destinée à maîtriser l'urbanisation nouvelle ou les changements de destination soit en interdisant, soit en autorisant avec des restrictions justifiées par la volonté de limiter la capacité d'accueil et la fréquentation, et par conséquent, la population exposée ou de protéger cette dernière en cas d'accident (règles de construction).

Concernant le bâti existant, les mesures applicables ont pour objectif l'adaptation des biens et des activités afin de réduire la vulnérabilité des personnes et le coût des dommages matériels. Le délai maximal pour l'application des mesures est de 5 ans. Les modifications ne doivent pas remettre en cause l'existence du bâti et ne pas dépasser 10% de la valeur du bâti. Des subventions ou des déductions fiscales sont possibles pour aider au financement des travaux. En cas de non respect du PPR alors des sanctions sont applicables comme des amendes par mettre carré (ne pouvant excéder 6000 euros). S'il y a récidive alors l'emprisonnement est envisageable [Godfrin, 2008].

Un PPR comprend trois documents [Guide PPR, 1997]:

- <u>la note de présentation</u> indique le secteur géographique concerné, la nature des phénomènes naturels pris en compte, les études réalisées, les méthodologies appliquées, les conséquences possibles des événements compte tenu de l'état des connaissances ;
- <u>les documents graphiques</u> délimitent les zones selon le niveau de risque. Aucune obligation réglementaire n'impose de modèle type de cartographie. En général, celle-ci fait apparaître les « zones rouges » d'aléa fort dans lesquelles sont imposées de forte contraintes urbanistiques (zones inconstructibles), les « zones bleues » d'aléa modéré

ou faible dans lesquelles les implantations restent autorisées sous réserve de prescriptions particulières. La cartographie réglementaire permet également de faire apparaître les zones dans lesquelles des aménagements pourraient aggraver les risques ou en provoquer de nouveaux ;

- le règlement détermine les dispositions applicables selon le zonage réglementaire. Il peut s'agir d'interdictions, de prescriptions et de mesures de prévention, de protection et de sauvegarde, concernant les implantations anciennes ou futures, s'imposant aux personnes privées comme aux personnes publiques. Les PPR peuvent ainsi interdire ou subordonner à des conditions spéciales, dans des zones délimitées, les constructions, ouvrages, biens et activités exposés à des risques ou qui pourraient les aggraver ou en provoquer de nouveaux. Le règlement peut contenir des mesures obligatoires.

En 2006 on comptabilisait 5328 PPR approuvés et 5383 PPR prescrits [Prim.net, 2006]. 300 à 500 nouveaux PPR sont approuvés chaque année [IGF IGE CGPC, 2006].

Après avoir décrit le fonctionnement de la prévention des risques naturels en France il convient désormais d'étudier le rôle et le positionnement de l'assurance dans le processus de gestion des risques naturels.

I.2. Le contexte de l'assurance des risques naturels en France

Afin de décrire au mieux le rôle du secteur de l'assurance en France, il convient dans un premier temps de rappeler les éléments clés du fonctionnement du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles (régime CatNat) et les mécanismes d'incitation afférents. Sont aussi explicitées les conditions de réassurance ainsi que les réformes attendues au niveau national comme au niveau européen. Ensuite une synthèse est faite sur les missions stratégiques des sociétés pour remplir au mieux leurs fonctions et assurer la pérennité de leurs activités.

I.2.1. L'assurance des catastrophes naturelles en France

I.2.1.i. L'assurance dans le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles

L'indemnisation des sinistres repose sur la définition de catastrophe dans la loi 82-600 de juillet 1982 qui désigne « l'intensité anormale d'un agent naturel » [Loi 82-600, 1982]. Il est important de souligner que le terme « intensité anormale » renvoi à un risque non probabilisable c'est-à-dire dont la fréquence d'occurrence est trop faible pour que ces événements soient rendus probabilisables. Cela sous entend qu'il ne s'agit pas d'un risque classiquement assurable sur le marché français.

Le mécanisme mis en place par l'Etat est centré sur les préjudices économiques c'est-à-dire sur les contrats d'assurance dommages aux biens, aux véhicules terrestres à moteur et de couverture de pertes d'exploitation. Les assurances de personne ne sont pas concernées. Suite à la survenance d'un événement catastrophique naturel, une commission interministérielle déclare les communes concernées par l'événement par le biais d'un arrêté préfectoral par commune (désigné sous le terme d' « arrêté catnat »). Les assureurs sont en charge dès la publication de ces arrêtés de réaliser les expertises sur les dommages directs mais aussi sur certains dommages indirects comme les pertes d'exploitation, puis sous un délai de 3 mois d'indemniser les assurés.

Comme expliqué précédemment, le régime repose sur un principe de solidarité et de mutualisation au travers d'un taux de surprime unique applicable à tous les contrats d'assurance de dommages aux biens (dommages multirisques habitation, dommages entreprises, dommages auto). Cela concerne :

« Les contrats d'assurance, souscrits par toute personne physique ou morale autre que l'État et garantissant les dommages d'incendie ou tous autres dommages à des biens situés en France (dommages aux biens professionnels et non professionnels), ainsi que les dommages aux corps de véhicules terrestres à moteur ».

Le taux de surprime est actuellement de 12% pour les contrats de dommages aux biens (multirisques habitation, multirisques professionnels, multirisques entreprises, etc.) et de 6% sur les contrats d'assurance de dommages automobile. Les assurés particulièrement exposés disposent d'une couverture d'assurance strictement identique à celle des assurés peu ou pas du tout exposés. Il s'agit du principe de solidarité géographique permettant d'éviter qu'il y ait des refus d'assurance sur les risques élevés : aucune modulation du montant des primes n'est envisageable afin d'inciter à réduire le risque.

Quelques leviers d'incitations financières à la prévention via l'assurance existent tout de même. Le premier levier consiste à limiter le montant de l'indemnisation dans les cas où « *les mesures habituelles à prendre pour prévenir (les) dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises »*. En théorie il est donc possible pour une société d'assurance de refuser un contrat si les prescriptions d'un PPR n'ont pas été respectées. Le deuxième levier repose sur le montant de la franchise en cas d'indemnisation suite à une catastrophe naturelle. Le montant est augmenté dans les communes plusieurs fois sinistrées et non couvertes par un PPR ; l'augmentation de la franchise est cependant suspendue pendant quatre ans en cas de prescription d'un PPR. Au-delà des quatre ans, on estime que la commune présente un retard dans l'avancement administratif et l'augmentation de la franchise est applicable. Ce mécanisme est désigné sous l'expression « modulation de franchise ». Par le biais de ce mécanisme, l'incitation à la prévention en France n'est pas évidente car la contrainte de réalisation du PPR est sous la responsabilité de l'Etat et non pas du citoyen.

Comme cela est souligné dans le rapport de synthèse de la mission d'enquête, la politique publique de prévention et le régime d'indemnisation sont deux dispositifs « juxtaposés et non convergents » car d'une part le constat est que le mécanisme d'indemnisation des catastrophes naturelles n'incite pas réellement à la prévention et d'autre part la politique de prévention des

risques naturels n'est pas parvenue à contenir significativement la croissance de l'indemnisation des catastrophes naturelles. Les outils à disposition des assureurs pour diversifier et sélectionner leurs risques sont pour ainsi dire inexistants. Mais un suivi attentif de l'avancement de ces processus administratifs est nécessaire pour les sociétés d'assurance afin de s'assurer que les outils de la prévention sont utilisés avec pertinence et efficacité par l'Etat sur l'ensemble des communes à risque. Dans ce couplage de responsabilité entre les sociétés d'assurance et l'Etat intervient une troisième composante à savoir la réassurance.

I.2.1.ii. La réassurance des catastrophes naturelles en France

La réassurance est un arrangement au terme duquel une société «le réassureur» s'engage à indemniser une société d'assurance «la cédante» contre tout ou partie du risque qu'elle a souscrit aux termes d'une ou plusieurs polices d'assurance. Cela permet d'apporter à l'assureur direct une plus grande stabilité de résultats lorsque des sinistres inhabituels et importants se produisent en le couvrant au-delà de certains plafonds ou contre l'accumulation d'engagements individuels. Cela augmente aussi la capacité disponible des assureurs pour être en mesure d'assurer des risques plus nombreux et plus importants. Concernant les catastrophes naturelles en France, la Caisse Centrale de Réassurance (CCR), société anonyme détenue par l'État, est habilitée à opérer la réassurance des risques relevant du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles, avec la garantie de l'État. La CCR n'est pas l'unique réassureur à pouvoir potentiellement opérer dans le cadre du régime d'indemnisation mais elle est en revanche la seule à disposer de la garantie de l'Etat en dernier recours ce qui lui confère une position de quasi-monopole.

La couverture des traités de réassurance s'articule autour de deux formules combinées pour offrir une garantie à « double détente ». Dans la première formule, dénommée « quote-part », l'assureur cède au réassureur une certaine proportion des primes qu'il encaisse, ce dernier s'engageant en contrepartie à prendre en charge la même proportion de sinistres, appelée cession. La partie de prime non cédée par l'assureur est dénommée « conservation » ou « rétention ». La réassurance en quote-part permet un véritable partage du risque : l'assureur est tenu de céder au réassureur un pourcentage de chacune des affaires de son portefeuille. La seconde formule, appelée garantie « en excédent de perte » annuelle (ou *stop-loss*), porte sur la conservation de l'assureur, c'est-à-dire la partie non cédée en quote-part. Cette formule est dite « non proportionnelle », dans la mesure où le réassureur intervient seulement lorsque la sinistralité totale annuelle dépasse une franchise fixée contractuellement et exprimée généralement en pourcentage des primes conservées. Ce type de réassurance permet notamment à l'assureur de se prémunir contre la survenance d'une multiplicité de sinistres. La franchise du traité CCR représente donc le montant maximum qu'un assureur sera amené à supporter au cours d'un même exercice, et ce, quel que soit le niveau de sinistralité.

Dans le cadre du régime catnat, chaque société d'assurance de dommages doit négocier chaque année avec la CCR son contrat de réassurance, c'est-à-dire déterminer à partir du portefeuille d'assurés la proportion de rétention et la proportion de cession. Pour cela il faut que chacune des sociétés puisse s'appuyer sur des scénarios d'événements naturels permettant d'évaluer au mieux la réalité de l'exposition des portefeuilles d'assurés et ainsi d'identifier clairement les montants financiers en jeu.

L'équilibre financier du régime repose donc sur trois acteurs incontournables que sont l'Etat, les sociétés d'assurance et la CCR. Des réformes sont envisagées pour les années à venir à l'échelle nationale comme à l'échelle européenne pour tenter d'améliorer les mécanismes de prévention et d'assurance des risques de catastrophes naturelles. Celles-ci pourraient redéfinir les contours des responsabilités et des rôles des acteurs du système.

I.2.1.iii. Les réformes à moyen terme

Au niveau national

Au niveau national, il est question de réformer le régime d'indemnisation des catastrophes naturelles en donnant plus de liberté aux sociétés d'assurance et en déchargeant l'Etat d'un certain nombre de prérogatives dont celle de fixer elle-même le montant de la prime. Il ne s'agit pas de remettre en cause le régime en lui-même mais plutôt d'y apporter des évolutions permettant de renforcer son équilibre et responsabiliser les acteurs. Même si cette réforme nationale n'est pas encore clairement définie, les lignes directrices ont tout de même été déterminées pour constituer un avant projet de loi. Malgré la solidité financière du régime (jusqu'à présent tous les citoyens assurés et sinistrés ont globalement été correctement indemnisés et le régime n'est pas en faillite) il y a nécessité de réformer le régime. Cette nécessité résulte d'une analyse critique partagée par l'ensemble des acteurs de la société civile (au travers de la mission interministérielle [IGF IGE CGPC, 2006]) dont les deux limites principales sont les suivantes :

- la première limite est liée à l'imprécision du cadre juridique du dispositif et au recours insuffisant aux experts scientifiques pour permettre de déterminer ce qu'est une catastrophe naturelle. La question est posée avec acuité pour les risques de subsidence dus à la sécheresse ;
- la deuxième limite est liée à l'absence de "mécanismes de rappel" permettant de garantir l'équilibre du régime CatNat à long terme. La mission note que "les rares mécanismes existants de rationalisation des comportements sont soit inéquitables (comme l'augmentation des franchises en cas de multiplication des catnat dans une même commune et en l'absence de PPR prescrit), soit très peu appliqués (comme la possibilité d'exclusion de l'assurance CatNat pour les biens construits en violation des règles administratives). Face à l'augmentation de la vulnérabilité, les pouvoirs publics se sont contentés jusqu'ici d'augmenter graduellement les primes et les franchises, quitte à accroître les inégalités entre les assurés".

La mission interministérielle en charge de faire les propositions de réforme a fait les propositions suivantes :

- préciser la définition des risques couverts et recourir à un organisme collégial doté d'une autorité scientifique incontestable ;
- supprimer les arrêtés catastrophes naturelles ; ils seraient remplacés par des décisions dont le périmètre pourrait être infracommunal et la nature des dommages couverts par l'indemnisation devrait être mieux précisée ;
- redéfinir le périmètre des responsabilités sur la politique de prévention :
    - améliorer le cadre réglementaire des prescriptions générales au niveau national et compléter par des prescriptions particulières dans les PPR ;

- développer des outils d'information sur les prescriptions de prévention ;
- moduler la tarification de l'assurance catnat et mieux adapter l'indemnisation des dommages en fonction de la mise en œuvre de mesures de prévention ;
- améliorer la prise en compte des enjeux économiques des risques naturels par les différents acteurs.

Les lignes directrices de ce projet montrent que les assureurs vont être amenés dans le futur à évaluer de manière fine l'exposition aux risques naturels mais aussi l'état de la prévention des constructions de leurs assurés afin d'être en mesure de pouvoir moduler la prime et de participer au renforcement des mécanismes de prévention. La modulation de la prime aura un impact sur la politique de souscription de chaque entreprise d'assurance afin d'optimiser les portefeuilles de contrats concernant la concentration et la diversification des risques.

Au niveau Européen

Au niveau Européen des réformes profondes du fonctionnement interne des sociétés d'assurance sont en marche. C'est l'objet de la directive Solvabilité II [Solvabilité II, 2007]. La Commission européenne a adopté le projet de directive-cadre, connu sous le nom de « Solvabilité II », qui arrête le nouveau système prudentiel des assurances. Celui-ci sera voté par le parlement Européen en 2009. Cette réforme a trois objectifs affichés :

- garantir un bon niveau de protection pour les assurés
- harmoniser les règles prudentielles européennes
- inciter les compagnies d'assurances à améliorer la connaissance et la gestion de leur risque.

Au regard de ces objectifs une des nouveautés réside dans l'autorisation donnée aux assureurs d'utiliser des modèles internes pour le calcul de leurs besoins prudentiels en capital. A défaut, une formule standard s'appliquera à toutes les entreprises, quelques soient leur taille et leur statut juridique - société d'assurances, mutuelle, institution de prévoyance. Sur un plan technique et opérationnel, les outils financiers de contrôle à mettre en place s'inspirent de la directive Bale II pour les banques européennes. Concernant les catastrophes naturelles, cette directive va pousser les sociétés d'assurance à faire des études d'impact sur leurs processus afin de garantir une marge de solvabilité suffisante leur permettant de faire face à des scénarios catastrophe. Il s'agit d'évaluer le Scénario Maximum Possible (SMP) c'est-à-dire l'estimation de la plus grosse perte pouvant être anticipée pour un événement assuré. Elle correspond au scénario catastrophe après des études approfondies sur les événements ou les combinaisons d'événements critiques [Scor, 2005].

Les catastrophes naturelles sont directement concernées par ces évaluations. Il s'agit pour ce faire de modéliser les catastrophes à partir de données géographiques sur les aléas et sur les enjeux dans un ensemble homogène. Ces scénarios participent pour les sociétés à mettre en place un programme de contrôle des risques depuis l'identification et l'évaluation jusqu'à la mise en place d'un programme de financement.

I.2.2. Les besoins des sociétés d'assurance

D'un point de vue stratégique les assureurs se doivent d'intégrer dans leurs processus métiers les spécificités des risques naturels. Les besoins de la profession peuvent être divisés en deux catégories :

- les besoins « collectifs »: les besoins mutualisés pour l'intérêt général de la profession.
- les besoins « individuels » : les besoins stratégiques opérationnels, internes à une société d'assurance.

Sur le plan collectif il s'agit pour l'essentiel de participer au renforcement de la politique de prévention menée par les pouvoirs publics. Sur le plan individuel de chaque société il s'agit de pouvoir gérer et prévenir au mieux les sinistres, de pouvoir se réassurer sur un ou plusieurs événements catastrophiques et de pouvoir optimiser la politique de souscription auprès des assurés.

I.2.2.i. Les besoins collectifs : évaluer et renforcer la politique publique de prévention

L'amélioration de la politique publique de prévention mise en place par l'Etat au niveau national comme local est un point central pour la profession de l'assurance. Il s'agit de suivre l'avancement de la diffusion de l'information préventive afin de sensibiliser les assurés (particuliers et entreprises) sur leur niveau d'exposition et leur vulnérabilité aux risques naturels. Ainsi il s'agit de suivre l'avancement de la réalisation des PPR et de leur bonne application dans les communes concernées. Il s'agit donc de mesurer si les communes les plus exposées aux risques naturels ont par ailleurs un PPR approuvé ou tout du moins une procédure de réalisation en cours mais aussi de d'identifier si les règlements des PPR sont bien respectés (respect des zones d'interdiction de construction et intégration des recommandations et des prescriptions sur le bâti existant et futurs).

Ces besoins collectifs s'expriment de façon collégiale au sein des groupes de travail de la MRN et du Comité Européen des Assurance (CEA) intégrant des participants venant de toutes les sociétés et mutuelles d'assurance françaises. Une étude sur l'évaluation de la pertinence et de l'efficacité des PPR a notamment été réalisée en 2006 dans le cadre d'un contrat de recherche entre le CRC afin de proposer un modèle d'évaluation globale de la politique de prévention [Etude PPR, 2007]. Des concertations ont lieu au travers de groupes de travail et de colloques faisant participer le Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire (MEEDDAT), la CCR mais aussi les Etablissements Publics de Bassins (EPTB) sur le risque inondation afin de réunir les conditions favorables à l'amélioration la politique à l'échelle globale dans l'optique de la réforme du régime.

I.2.2.ii. Des besoins individuels : optimiser la souscription et la gestion des sinistres

Les sociétés d'assurance ont en interne des besoins opérationnels afin de gérer au mieux leurs relations avec les assurés et leur garantir la meilleure protection financière. Pour cela il est nécessaire de prendre en compte la distribution géographique des risques naturels afin d'éviter une trop forte concentration de valeurs financières dans une zone à risque élevé. Même si aujourd'hui il ne peut y avoir de politique de souscription ajustée en fonction du niveau d'exposition, les évolutions à venir du contexte réglementaire obligent les sociétés à réfléchir sur une prise en compte de l'exposition soit pour refuser d'assurer comme par exemple lorsqu'il s'agit de nouvelles constructions dans des zones rouges d'un PPR ou bien de pouvoir moduler la surprime en fonction des aménagements de prévention intégrés ou non dans le plan de construction. Dans le cas où les montants des primes seraient modulables alors l'assurance des catastrophes naturelles ne serait plus un simple prélèvement comme pourrait l'être une taxe classique mais serait davantage un risque à traiter comme les autres en respectant les lois fondamentales de l'assurance [Couilbault et al., 2007] que sont :

- la nécessité de production : avoir le plus grand nombre d'assurés pour pouvoir mutualiser les risques de façon plus aisée.
- l'homogénéité des risques : classifier les risques dans des catégories de tarifs homogènes, majorer le tarif pour les risques les plus graves, refuser d'assurer les risques certains.
- la dispersion des risques : éviter que les risques se réalisent en même temps. Cette loi est particulièrement vraie pour les risques naturels lorsqu'une quantité trop importante d'assurés se trouvent dans une zone touchée par une catastrophe.
- la division des risques : éviter un trop gros risque dont le coût ne pourrait être compensé par les primes. Cela signifie qu'il est nécessaire de n'accepter qu'une fraction acceptable du risque.

Dans l'application de ces lois fondamentales, il apparaît nécessaire de piloter la souscription en prenant en compte les caractéristiques géographiques non seulement de l'aléa mais aussi de l'assuré et de l'ensemble du portefeuille de la société. Par ailleurs l'assureur se doit aussi d'être force de proposition en matière de prévention ; il s'agit de pouvoir orienter les ingénieurs préventionnistes vers les sites assurés les plus vulnérables afin d'effectuer des visites d'expertises, d'analyser de façon détaillée le niveau de vulnérabilité aux aléas naturels pour les entreprises mais aussi pour certaines catégories de particuliers.

Enfin un autre axe de l'activité opérationnelle d'une société vis-à-vis de ses assurés est de gérer le sinistre. Dès la survenance d'une catastrophe naturelle la société déploie des experts dans la région géographique sinistrée pour évaluer précisément les dommages puis lancer en interne la procédure d'indemnisation et les aides à la réparation des dommages [Couilbault, 2007]. Il est important de connaître à l'avance les zones les plus sensibles afin d'organiser le réseau d'experts pour être le plus réactif possible auprès des assurés dès la survenance d'une nouvelle catastrophe.

I.2.2.iii. Conserver la marge de solvabilité

Comme expliqué précédemment garantir une marge de solvabilité devient un enjeu stratégique majeur pour les sociétés d'assurance. Concernant les risques majeurs naturels il est nécessaire de savoir quels sont les scénarios susceptibles de mettre en péril l'équilibre financier de chaque société d'assurance. La réforme envisagée donnera vraisemblablement plus de responsabilité à l'assurance et à la réassurance dans l'évaluation de ces risques. La difficulté de ce projet est de se doter d'outils de modélisations fiables sur les événements pouvant réellement se produire sur le territoire. Il s'agit de calculer sur tous les portefeuilles de contrats d'assuré les estimations de dommages en confrontant les zonages géographiques des aléas et la géolocalisation des lieux de risque contenus dans chaque contrat ; l'agrégation des valeurs estimées par événement, par bassin de risque ou par cumul d'événements permettent d'obtenir des montants significatifs. La notion de probabilité de survenance n'est pas fondamentale dans ces évaluations ; il s'agit de modéliser le Scénario Maximum Possible (SMP) ou le Scénario Raisonnablement Escompté (SRE).

Certains indicateurs relatifs à la maîtrise technique des risques sont suivis de près pour garantir les seuils de solvabilité potentiellement exigés par la directive Solvabilité II. A titre d'exemple on peut citer :

- le ratio sinistres sur primes (S/P) qui calcul le rapport entre le montant des indemnités versées et les montants des primes encaissées par année d'exercice.
- le ratio combiné qui complète le S/P en ajoutant aux montants des sinistres les coûts de gestion et de commercialisation des contrats ainsi que les montants des provisions techniques.

Face à ces besoins stratégiques au regard des risques naturels, chaque société doit se doter d'outils permettant de mesurer ces risques et de les traiter sur un plan opérationnel. Ces outils peuvent être mutualisés lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins dits collectifs ou internalisés lorsqu'il s'agit de répondre aux besoins dits individuels. Le sous-chapitre suivant fait un état de l'art des méthodologies et des technologies pratiquées pour répondre à ces besoins.

I.3. Etat de l'art des outils mis à disposition de la profession

Les outils mis à disposition de la profession sur le thème des risques naturels sont peu nombreux et répondent que partiellement aux besoins réels et encore plus partiellement aux besoins à venir dans le cadre d'une réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles et de la directive Solvabilité II. L'état de l'art a permis de classer les outils en trois catégories : les outils d'inventaires sur les aléas, les outils de modélisation de catastrophes, les outils de diagnostic et de zonage des risques.

I.3.1. Les outils d'inventaires sur les aléas

De nombreux organismes publics diffusent des lots de données géographiques sur les aléas au travers de portails géographiques ou d'Atlas cartographiques en ligne sur Internet. Ces

données sont le résultat de modélisation des aléas mais ne sont pas des résultats de croisements avec des données sur les enjeux par exemple. On distingue les Atlas mis à disposition par les pouvoirs publics et les Atlas mis à disposition par des organismes privés professionnels.

I.3.1.i. Données mises à disposition par les pouvoirs publics

Dans la dynamique de la directive Inspire [INSPIRE, 2007], visant à favoriser l'échange et le partage de données géographiques à l'échelle Européenne, des démarches significatives ont été entreprises par les pouvoirs publics sur la diffusion et la démocratisation des accès aux données géographiques sur les aléas naturels.

Au niveau national, le MEEDDAT a réalisé le portail Cartorisque dont l'objet est la publication sur Internet de l'ensemble des cartes des risques naturels et technologiques majeurs [CARTORISQUE]. Les informations publiées proviennent des services déconcentrés de l'Etat, sous l'autorité des préfets concernés. Ainsi sont notamment accessibles en consultation et en téléchargement les cartes d'aléas comme les Atlas des Zones Inondables (AZI), considérés comme de l'information préventive à destination des citoyens, et les plans de zonages réglementaires des PPR (sous réserve de disponibilité des cartes dans un format standard numérisé). Tous les départements ne sont pas couverts du fait du retard dans la numérisation. L'interface de Cartorisque montre clairement l'avancement des départements sur la mise en ligne (statut par département : « validé », « en cours de traitement », « absence de données », etc.). Les assureurs peuvent depuis cette interface télécharger les données afin de réaliser leurs traitements en interne (analyses de risque, modélisation de scénario, etc.) à l'aide de leur propre système d'information géographique interne s'ils en disposent. D'autres initiatives régionales participent à la diffusion et au partage en France des données géographiques sur les risques naturels. C'est le cas de nombreuses Directions Régionales de l'Environnement (DIREN) qui mettent à disposition les AZI comme dans le Languedoc Roussillon, le Nord Pas de Calais ou la Lorraine : ces sites vont être amenés à disparaître par l'intégration du portail CARTORISQUE [Cartorisques, 2008] (cf. illustration dans la figure 8).

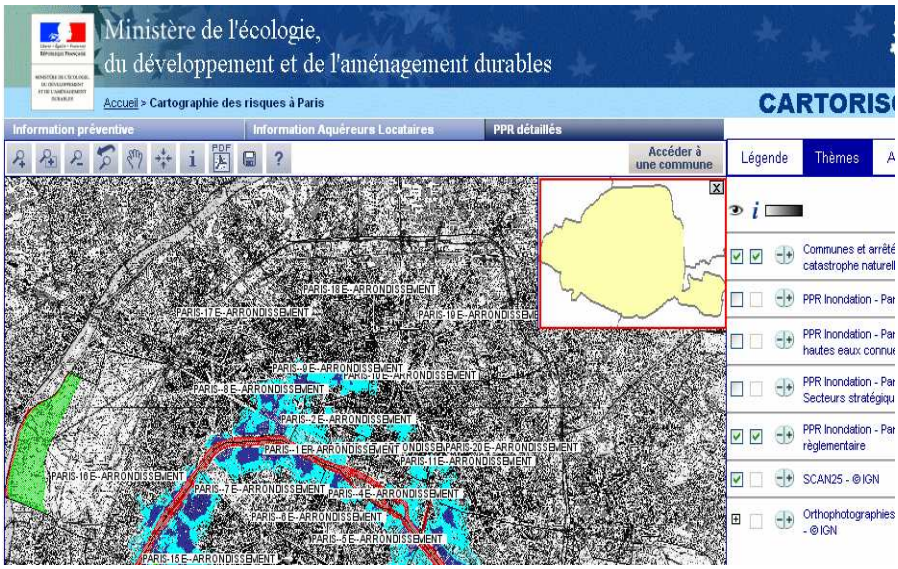


Figure 7 - ***Interface de CARTORISQUE le portail des données sur les risques naturels du MEEDDAT***

Concernant l'aléa sécheresse, le Bureau de Recherche en Géologie Minière (BRGM) met à disposition un atlas sur le zonage de l'aléa sur la sécheresse géotechnique, c'est-à-dire les zones de retrait et gonflement des argiles engendrant des tassements différentiels pouvant causés des dégâts parfois importants sur les constructions. Il s'agit de la BD Argiles [Argiles, 2008]. Tous les départements ne sont pas couverts par ces modélisations. Comme pour les inondations, ces données géographiques sont consultables et téléchargeables ; les assureurs peuvent les utiliser en interne pour leurs propres traitements.

Les assureurs peuvent aussi accéder à la base de données GASPAR (Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels) du MEEDDAT [GASPAR, 2008]. GASPAR est considérée comme l'épine dorsale du système d'information administratif sur les risques naturels. Cette base de données rassemble les informations sur l'avancement de la mise en œuvre des documents d'information préventive et des procédures portée réglementaire :

- avancement des PPR et assimilés ;
- les arrêtés CatNat par commune et par aléa ;
- documents d'information préventive (Documents Communaux Synthétiques, Atlas des Zones Inondables).

A partir de cette source de données les assureurs peuvent identifier les communes pouvant être potentiellement soumises à modulation de franchise.

Ces portails sont à destination de tous dans le but de développer la connaissance sur les risques naturels. Ces outils ne sont pas réalisés spécifiquement pour les professionnels de l'assurance mais pour tous les acteurs publics et privés concernés par les risques naturels.

I.3.1.ii. Banques de données mondiales sur les aléas

Certains organismes recensent les aléas à l'échelle mondiale. C'est le cas notamment du secteur de la réassurance qui propose des outils recensant les catastrophes majeures et la cartographie des aléas majeurs comme les séismes, les ouragans ou encore les tsunamis. Ces informations sont constituées par des laboratoires privés internes aux compagnies et rendues accessibles pour le grand public et tous les professionnels via des portails cartographiques interactifs en ligne. Ces données sont consultables mais non téléchargeables.

Ainsi le portail NATHAN (Natural Hazard Assessment Network) a été constitué par le « NatCat Service » de la Munich Re [NATHAN, 2008]. La base de données contient environ 20 000 enregistrements de toutes les catastrophes à partir de données provenant des sinistres remontées par les sociétés d'assurance clientes de la Munich Ré, par les organismes internationaux comme les nations unies ou par les services météorologiques ou bien même par analyse des voies de presse. Cette base de données est accessible via un portail géographique en ligne sur lequel il est possible de connaître le niveau d'exposition aux aléas naturels (hors inondation) dans le monde entier en localisant aux coordonnées GPS ou bien par le nom de la ville.

D'autres organismes internationaux et gouvernementaux se sont organisés pour construire des bases de données non géographiques mais recensant l'ensemble des catastrophes technologiques et naturelles survenant chaque année. On compte de nombreuses bases de données comme celle d'EM-DAT (Emergency Events Database) [EMDAT, 2008]. Les conséquences de toutes les catastrophes survenues dans le monde entier sont accessibles. L'exploitabilité de ces données est limitée pour les sociétés d'assurance du fait qu'il n'y a pas de données géographiques pour pouvoir effectuer des traitements pertinents.

Ces exemples de portails permettent d'accéder à des données géographiques et non géographiques : chaque société peut aisément les télécharger et les intégrer dans son propre système d'information pour traitements et analyses. Mais les sociétés ont besoin soit de sous traiter les analyses pertinentes pour leurs métiers auprès d'organismes privés soit d'être accompagné méthodologiquement pour en faire bon usage.

I.3.2. Les outils de modélisation de catastrophes

Les sociétés ont à l'heure actuelle du mal à percevoir ce qu'il est possible de faire en interne avec ces données sur les aléas qui sont pour l'essentiel des données publiques, spécialisées sur les aléas, avec des degrés plus ou moins importants d'hétérogénéité d'un territoire à un autre ou d'un producteur à un autre : pour des professionnels de l'assurance non spécialisés en hydrologie ou en géotechnique il est difficile de s'approprier des informations pour les utiliser sur un plan opérationnel. C'est pourquoi sur des besoins ciblés, comme par exemple la négociation de traités de réassurance, les sociétés d'assurance sous-traitent la modélisation à des sociétés privées spécialisées dans la modélisation des catastrophes reposant sur une approche probabiliste. Cette pratique est généralisée dans les pays anglo-saxons mais pas encore utilisée en France. L'absence d'outil probabiliste de modélisation des catastrophes en

France s'explique par la nature même du système de l'assurance des risques naturels français où l'Etat est le producteur unique de données de référence sur les aléas naturels et il contrôle la réassurance puisque il se porte garant financièrement via la CCR sur tous les aléas naturels faisant partie du régime catnat (inondations, sécheresse, séisme, mouvements de terrain, etc.).

I.3.2.i. Les modèles probabilistes de catastrophes

Les modèles probabilistes de catastrophes sont des outils proposés pour évaluer les dommages sur des portefeuilles d'assurés et calculer des probabilités annuelles de survenance d'événements catastrophiques. On distingue notamment des agences privées anglo-saxonnes telles que AIR [AIR, 20008], EQECAT [EQECAT, 2008] et Risk Management Solutions [RMS, 2008], des courtiers en réassurance se spécialisant sur certains aléas naturels tels que Guy Carpenter, Benfield, ou Willis et des réassureurs ayant décider d'investir sur la conception de leurs propres systèmes de modélisation [SwissRe, 2008], [MunichRe, 2008].

Les premiers développements de la modélisation géographique des risques à l'usage de l'assurance ou de la réassurance sont d'abord apparus sur les événements climatiques aux Etats-Unis suite à l'Ouragan Hugo en Floride et le séisme de Loma Prieta en Californie et ont ensuite été introduits en Europe à la suite des nombreuses tempêtes du début des années 90. Les tempêtes et les cyclones représentent la cause des dommages assurés les plus importants en Europe et aux Etats-Unis. En France, les tempêtes Lothar et Martin en 1999 ont renforcé la sensibilisation des entreprises d'assurance et de réassurance à la mesure de l'exposition de leurs portefeuilles du point de vue géographique.

L'objectif de ces modèles est de fournir des probabilités sur des montants de pertes annuelles sur un seul sinistre extrême (Occurrence Exceedance Probability curve) et sur l'agrégation de montant de sinistres probables entraînant le dépassement de seuils de pertes (Aggregate Exceedance Probability curve) [Kunreuther et al., 2005], [Brehm, 2007]. Ces éléments permettent ensuite de définir la prime pure de la société d'assurance cédante, la limite et les incertitudes associées pour pouvoir ensuite consolider le traité de réassurance conclu entre l'assureur et le réassureur sur un portefeuille d'assurés donné.

Les outils proposés sont généralement composés de plusieurs modules mobilisant plusieurs profils de compétence comme des ingénieurs spécialisés dans la constitution de courbes de vulnérabilité, des scientifiques, des géophysiciens mais aussi des économistes et des analystes financiers. On trouve en général trois modules :

- <u>Module Aléa</u> : L'exposition aux aléas naturels dépend de la répartition géographique, de la fréquence d'occurrence et de l'intensité des événements. D'une part sont pris en compte des inventaires d'événements antérieurs et d'autre part des connaissances scientifiques concernant les propriétés physiques des aléas. Afin de disposer d'un échantillon significatif d'événements catastrophiques pour établir des probabilités d'occurrence, ce module utilise un moteur stochastique pour simuler des événements calibrés en fonction des événements historiques observés ayant des propriétés physiques et une trajectoire géographique comparable. Chaque événement a donc une probabilité de survenance, une trajectoire géographique et des paramètres caractérisant l'intensité sur toutes les portions géographiques qui le compose : pour les événements

cycloniques il s'agira de la vitesse et de la direction du vent, pour les phénomènes de crue il s'agira du débit, du volume de précipitation, de la hauteur d'eau calculée à partir des caractéristiques du sol, enfin pour les séismes il s'agit de prendre en compte la distance à l'épicentre.

- Module Vulnérabilité : Pour une même intensité de l'aléa, on constate que l'ampleur des dommages occasionnés peut être très diverse : les dégâts subis par des bâtiments sont plus ou moins importants selon le type de construction, leur ancienneté ou leur hauteur. Le contenu du bâtiment est aussi important. Le taux moyen de sinistralité (« mean damage ratio ») est le montant total du sinistre par rapport à la valeur totale de tous les objets d'assurance dans la zone considérée. Il dépend donc de l'intensité du phénomène et des spécificités des objets assurés. Ainsi on définit une multitude de courbes de vulnérabilité ou encore appelées « courbes d'endommagement » qui expriment le rapport entre l'intensité et le taux moyen de sinistralité. Ces courbes de vulnérabilité sont appliquées pour chaque type de bâtis, d'activités ou de biens contenu dans le portefeuille d'assurés à analyser en appliquant l'impact de chaque événement simulé (intensité de crue, tempête, séisme) sur les localisations géographiques des sites assurés.

- Module Finance : Afin de déterminer les montants financiers des pertes potentielles, il s'agit de rattacher la valeur de remplacement des dommages ainsi que les conditions d'assurance correspondantes pour chaque lieu de risque balayé par l'événement (primes, limites de garantie, franchise). Ainsi il est possible de déterminer le sinistre brut et le sinistre net pour l'assureur. Ces conditions s'appliquent à des couvertures d'assurance individuelles comme les logements des particuliers ou à plusieurs couvertures d'assurance concernant un même lieu comme les professionnels ou les entreprises (machines, stocks, marchandises et pertes d'exploitation).

La combinaison de ces trois modules sur un portefeuille d'assurés permet d'obtenir en sortie des courbes de fréquence des sinistres (cf. figure 9). Les sociétés d'assurance n'ont qu'à fournir, aux organismes utilisant ces modèles, les données sur leurs assurés avec les conditions d'assurance ainsi que leur localisation géographique (au zipcode le plus souvent). Ces informations sont ensuite disposées sur une grille spatiale de haute résolution où chaque cellule contient les propriétés relatives à l'aléa et à la topographie.

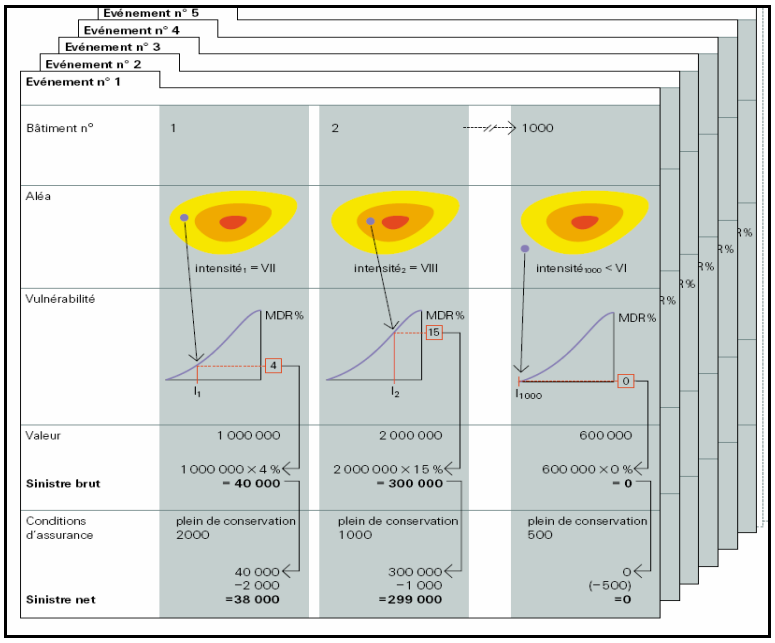


Figure 8 - ***Illustration de la méthode de modélisation probabiliste des catastrophes pour le secteur de l'assurance et de la réassurance [SwissRe, 2007]***

L'ensemble de la profession à l'international salue la pertinence des outils et les moyens mis en œuvre sur ces thèmes. Cependant il est aussi admis que ces outils présentent des limites. La principale repose essentiellement sur l'incertitude des probabilités résultant de ces simulations. James Orr, spécialiste de la modélisation de catastrophe à la Lloyd's of London, estime qu'une des principales sources d'amélioration concerne les périodes de retours des événements [Orr et al., 2003]. James Orr souligne les insuffisances de ces modèles :

- insuffisance de données homogènes, précises et longues sur les périls : des appareils de mesures ont été ajoutés pour l'analyse des séismes et des tempêtes depuis quelques décennies ce qui complique l'analyse de séries longues ;
- insuffisance des informations : manque d'information sur les sinistres par exemple pour le calibrage de fonctions d'endommagement. Il est alors nécessaire de reconstituer ces fonctions sur différentes hypothèses ou bien d'utiliser des fonctions d'endommagement d'autres pays en faisant des recoupements hydrologiques, atmosphériques ;
- imperfection de la connaissance de certains périls : apparition de tempêtes et les phénomènes induits par les inondations (remontée progressives de nappes phréatiques, affaiblissement de fondations de bâtiments) ;
- informations insuffisantes en matières d'exposition : problème de localisation des enjeux ; le risque est souvent localisé par l'adresse du souscripteur et non par l'adresse du bien lui-même. Par ailleurs le découpage administratif au code postal ou à la commune ne permet pas une localisation précise. Les valeurs assurées en terme de bâti sont souvent mal ou non évaluées car la tarification est faite au nombre de pièces sans présager de la valeur de reconstruction du bâtiment.

Dans la pratique les résultats des simulations sont utilisés dans les pays anglo-saxons comme support à la discussion et à la négociation entre assureurs et réassureurs sur les catastrophes naturelles car il s'agit d'outils riches en information permettant de donner plus de lisibilité sur l'impact potentiel des aléas. En France, du fait de la complexité des données (hétérogénéité, absence dans certains départements, etc.) et du fait de la structure du régime d'indemnisation, les principaux périls que sont les inondations et la sécheresse ne sont pas modélisés par les agences spécialisées dans le domaine. La réforme du régime pourrait pousser ces compagnies à investir pour homogénéiser les données afin de mettre en place des modèles probabilistes.

I.3.2.ii. La modélisation des catastrophes en France

A la demande des pouvoirs publics, la Caisse Centrale de Réassurance a initié en 1997 un programme d'analyse des indemnisations avec la participation des assureurs. La CCR a réalisé une modélisation interne pour reconstituer une partie de l'historique des événements catastrophiques. Le processus comprend trois étapes distinctes :

- la création du catalogue des événements ;
- la transformation de chaque événement du catalogue en montant de sinistres ;
- l'interprétation en termes de prix de la fonction de répartition des sinistres.

L'objectif de la modélisation est de répondre à trois objectifs :

- concourir au développement de la prévention ;
- évaluer l'engagement de l'Etat ;
- garantir l'équilibre à long terme du régime d'indemnisation.

Suivant le type d'aléa, le catalogue d'événements est constitué sur une base historique ou bien sur une base probabiliste. Concernant les inondations il y a débat sur le choix d'un catalogue historique ou probabiliste. La réalité historique fait apparaître une répétition d'événements d'ampleur moyenne de l'ordre de quelques centaines de millions d'euros. Ces répétitions se sont faites souvent dans les mêmes bassins hydrographiques. Les scientifiques ont plutôt développé leurs activités en direction des événements de période de retour centennale, bicentennale, cinqcentennale. Il s'agit donc de prioriser les événements suivant leur période de retour ; si l'on reste sur des périodes trop grandes on restera sur une approche purement historique ou déterministe, dans le cas contraire si l'on prend des périodes de retour trop courtes alors le risque est de ne pas prendre en compte les catastrophes mais seulement les risques de moyen ampleur. Le débat ne semble pas être tranché.

Ainsi à partir de la collecte d'informations sur les portefeuilles de risques assurés et les sinistres auprès de chaque société participante la CCR a mis au point deux outils : ATHENA (Analyse et Traitement de l'Historique des Evènements Naturels Assurés) et ARTEMIS (Analyse des Risques Traités par Evènements, Modélisation Informatique et Statistique). ATHENA a le double objectif de contribuer à une meilleure appréciation des engagements des sociétés, de la CCR et de l'Etat, et de permettre une modélisation des catastrophes naturelles. Les données brutes des sociétés d'assurances sont compilées et extrapolées pour obtenir une base de marché et permettent un retour d'expérience sur les événements récents. Le projet ARTEMIS consiste à modéliser plus finement les catastrophes naturelles relevant du régime, et les charges de sinistres qu'elles ont engendrées. Les objectifs sont d'estimer le coût

d'un événement et d'évaluer l'exposition de l'État, de la CCR et des sociétés d'assurance, notamment par la simulation d'événements historiques de référence sur les portefeuilles actuels, comme l'inondation de Paris en 1910 par exemple. Ces outils se composent de données statistiques géoréférencées soient à l'adresse soient à l'échelle d'un îlot de l'INSEE soient à l'échelle d'une commune. Le module d'aléa utilise pour chaque événement reconstitué des données pluviométriques de Météo France, des données hydrométriques du MEEDDAT et enfin des données topologiques permettant en tout point de la zone affectée de calculer une hauteur d'eau [Bidan, 2007], [Blondeau et al., 2004]. Cette approche est limitée à la reconstitution uniquement de quelques événements naturels de grandes ampleurs tels que la crue du Rhône, les crues du Gard en 2002 ou encore la crue de la Seine de 1910. Le reste du réseau hydrographique n'est pas couvert.

I.3.3. Les outils de diagnostic et de zonage du risque pour le secteur de l'assurance

La deuxième catégorie d'outils concerne les outils de diagnostic et de zonage du risque. L'objectif de ces outils est de pouvoir déterminer les conditions d'assurance en fonction d'une notation de l'exposition au risque ; soit un indice par aléa soit un indice multi-aléa. Du fait de la structure du régime CatNat en France, il n'y a pas de politique réelle de zonage du risque pour le secteur de l'assurance. Seule la MRN avec l'appui du CRC a mis en place un premier portail géographique en ligne permettant d'obtenir un pré diagnostic à l'adresse ou au point GPS ainsi qu'à la commune [LettreMRN, 2007].

L'utilisation d'outils de zonage du risque dédiés au secteur de l'assurance est plus courante aux Etats-Unis ou en Allemagne : les outils utilisés par les professionnels de l'assurance de ces deux pays ont été choisis pour illustrer des exemples de pratiques.

I.3.3.i. Les outils de zonage à l'étranger

Les outils de zonage géographique des aléas naturels sont mis à la disposition des assureurs afin de donner des éléments homogènes et encadrer les calculs des montants des primes. Les mécanismes de zonage varient suivant les pays et suivant les aléas.

Aux Etats-Unis par exemple le fonctionnement de l'assurance est différent pour traiter les inondations de celui pour traiter les séismes ou encore de celui pour traiter les tempêtes. Concernant les inondations le National Flood Insurance Program (NFIP) est un système fédéral de zonage tarifaire des inondations à l'échelle de communautés. La Federal Emergency Management Agency (FEMA) a mis au point un portail d'information géographique permettant de télécharger les Flood Insurance Rate Maps (FIRM) contenant le zonage tarifaire des crues ayant une période de retour centennales (base de la tarification) bicentennales et cinqcentennales. La tarification est calculée au regard de la combinaison du zonage et des mesures de prévention collectives déployées dans chaque zone (illustration figure 10).

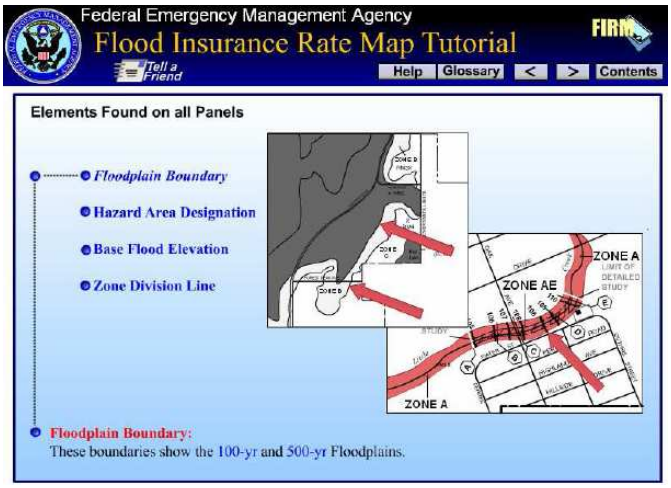


Figure 9 - ***Exemple d'une National Flood Insurance Rate Map mis à disposition par la FEMA***

Un autre outil appelé HAZUS-MH (Hazard Multihazard Loss Estimation) permet d'estimer les dommages à partir de données intégrées à trois niveaux : les données sur l'aléa et la vulnérabilité, les données entrées par les utilisateurs, les données avancées et des modèles d'analyse. HAZUS est un outil exploitant de l'information géographique et des modèles d'analyse à partir de différentes sources telles que les Modèles Numériques de Terrain (MNT) permettant d'avoir le relief de chaque zone du territoire (fournis au format numérique par la NASA), les données provenant des réseaux hydrographiques permettant de simuler les crues centennales et bicentennales, les données d'exposition pouvant être fournies soit en ligne soit via CD-ROM [HAZUS].

En Allemagne, l'association des assureurs allemands (GDV) a développé, pour le compte des sociétés du marché, un outil de zonage tarifaire appelé ZURS. Ce système défini quatre zones d'aléa sur l'ensemble des bassins versants du territoire allemand :
- GK1 : fréq. crue > 200 ans
- GK2 : 50 ans < fréq. crue < 200 ans
- GK3 : 10 ans < fréq. crue < 50 ans
- GK4 : fréq. crue ≤ 10 ans

Bien que la tarification soit laissée à l'appréciation de chaque assureur, en fonction du type de zone inondable, certaines règles ont été établies entre les assureurs. Un logiciel mis au point par ESRI [Castens, 2003] en 2003 permet aux assureurs allemands d'intégrer des données relatives à leur portefeuille dans un SIG contenant la cartographie des risques de ZÜRS sur tout le territoire.

Ces deux exemples montrent qu'il y a des initiatives pour fournir aux assureurs des outils d'aide au diagnostic de risque et de zonage pour l'aide à la tarification. La composante spatiale de l'aléa et les attributs permettant de qualifier l'aléa (ex : crue avec un débit et une hauteur d'eau et une période de retour en un point) constitue un élément essentiel de l'évaluation du risque pour l'assureur.

I.3.3.ii. Les géoservices de la MRN

En France l'analyse détaillée du risque est rendue difficile de part l'hétérogénéité des données qui fait que suivant les régions les méthodes de modélisation utilisées sont parfois différentes et l'interprétation peut donc diverger d'un point à un autre du territoire. De plus certains bassins de risques ne sont pas modélisés ou alors la modélisation existe mais n'est pas diffusée dans un format exploitable pour réaliser des traitements de qualité. Il n'y a donc pas véritablement d'outil commercial ou public permettant de faire du zonage du risque ou du diagnostic. Cependant la MRN a acquis depuis sa création des connaissances aussi bien concernant les aléas en collectant l'ensemble des données numériques auprès des pouvoirs publics que concernant les technologies exploitant l'information géographique. Dans le cadre de leurs travaux professionnels une infrastructure de services géographiques a été élaborée en partenariat étroit avec le CRC. Cette infrastructure s'articule autours de deux services complémentaires comme l'explique [Chemitte, 2007] :

- le « back office » pour la réalisation d'études techniques
- le « front office » pour la livraison de produits et de service répondant aux besoins de la profession.

Les études techniques de « back office » permettent de traiter des données à la fois sur les aléas et sur les enjeux afin de fournir aux assureurs des éléments d'observation sur l'exposition des enjeux aux risques naturels en particulier pour l'inondation et la sécheresse. Les résultats sont des valeurs quantitatives mesurables à partir de données statistiques géoréférencées à différentes échelles (des lots d'adresses, des codes d'îlots de recensement de l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE), des codes insee des communes). Les enjeux analysés sont les logements des particuliers, les sites des professionnels et des entreprises. Les études techniques consistent aussi à réaliser des traitements sur un portefeuille d'assurés à partir d'un fichier d'adresses qui sera ensuite géocodé puis confronté aux données sur les aléas regroupées au sein de la MRN. Un rapport détaillé par type de zone est remis par la suite à la société propriétaire du portefeuille d'assurés.

La partie dite « front office » permet aux assureurs d'accéder à des services en ligne sur les risques naturels. Le portail SIGMRN permet de réaliser un pré diagnostic sur l'exposition aux risques naturels site par site à partir de son adresse ou de ses coordonnées GPS. Il est possible d'éditer en ligne un rapport d'exposition regroupant l'ensemble des informations disponibles sur l'exposition aux inondations, à la sécheresse et aux séismes : un traitement topologique est fait en ligne pour identifier la localisation géographique du bien et les types de zones d'aléa ou PPR inclus ou à proximité. Le rapport donne des informations sur la situation administrative de la commune (à partir de la base de données GASPAR); documents d'information préventive, nombre d'arrêtés catnat, maturité du PPR (prescrit, approuvé, approuvé depuis plus de 5 ans) ainsi que le calcul de la modulation de franchise selon la loi. Il est possible de savoir si le bien se trouve dans une zone réglementaire (dans le cas où il existe un PPR numérisé pour cette zone) et le règlement applicable pour la zone. Enfin, il inclus les résultats des traitements « back office » effectués par la MRN pour la commune concernée ; nombre de logements, nombre de professionnels, nombre d'entreprises. Afin de rendre

homogène la lecture de ces rapports des seuils de vigilance ont été établis par la MRN à partir de plusieurs critères tels que le type de modélisation de l'aléa, la qualification et la quantification de l'intensité de l'aléa pour rendre compte du niveau de risque de la zone en s'affranchissant de la complexité des données sources.

Les périmètres d'étude se limitent aux bassins de risque pour lesquels des données cartographiques sur les aléas sont disponibles et exploitables ce qui n'est pas le cas pour tous les départements français.

Cet outil a été développé par l'auteur au sein du CRC avec une maîtrise d'ouvrage coordonnée par l'équipe de la MRN et sur le socle technologique JMAP de la société Kheops Technologies ; l'architecture des services en ligne est présentée dans [Iris et al., 2007]. Ce service est actuellement accessible depuis la partie privée du site de la MRN [MRN, 2007]. Certaines sociétés d'assurance envisagent de déployer pour leurs souscripteurs cette application en obligeant ceux-ci à effectuer un pré diagnostic en ligne avant de souscrire des risques importants (risques entreprises, industriels, professionnels). En fonction du seuil de vigilance annoncé le souscripteur envisagera par exemple de programmer une visite sur site d'un ingénieur préventionniste ou bien d'envoyer un questionnaire d'analyse de risque centré sur un ou plusieurs risques naturels. La figure 11 montre des exemples d'interfaces web développés sur le SIGMRN.

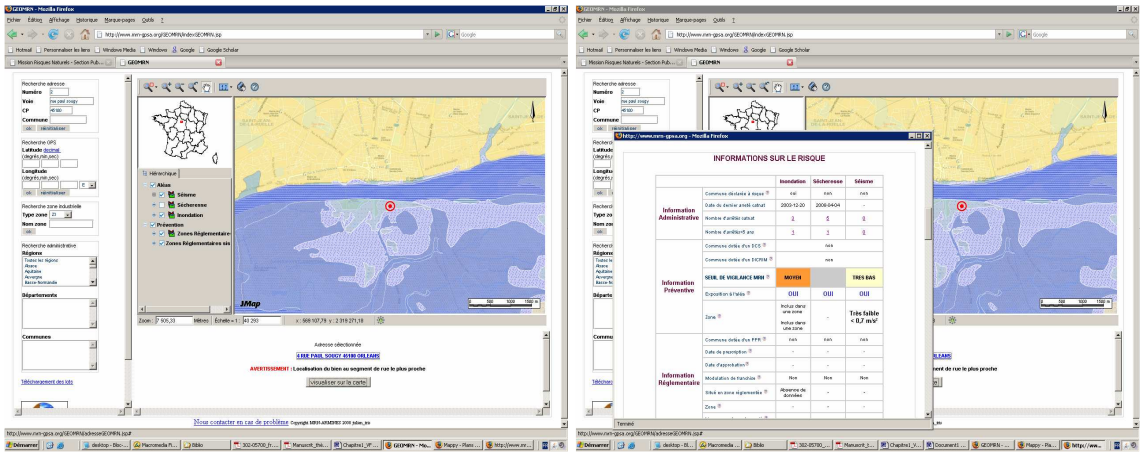


Figure 10 - ***Exemple d'interface du Géoportail de la MRN (SIGMRN)***

I.3.4. Synthèse sur les outils

Les outils décrits dans ce chapitre montrent qu'il existe des services informatiques permettant aux assureurs d'évaluer les risques avec des contraintes particulières :

- Les outils d'inventaires permettent aux assureurs de récupérer progressivement les données publiques brutes disponibles sur le territoire et de faire en interne leurs propres évaluations de l'exposition de leur portefeuille. Cela implique de mettre en place une méthodologie et des modèles de calculs pour prendre en considération l'hétérogénéité et l'absence de données pour couvrir l'ensemble du territoire.

- Les modèles de catastrophes permettent de fournir une base de négociation pour la réassurance mais les modèles diffèrent suivant les fournisseurs, les incertitudes sont fortes sur chacun des modules quant aux valeurs des probabilités. En France les principaux aléas que sont l'inondation et la sécheresse sont modélisés plutôt suivant une approche déterministe (suivant des scénarios majorants).
- Les outils de diagnostic et de zonage du risque n'ont pas encore fait l'objet de réflexions et d'études suffisamment abouties dans le secteur de l'assurance française. Les outils développés par la MRN suscitent un intérêt auprès des sociétés d'assurance françaises qui ont amorcé une phase d'appropriation de la technologie en déployant ce module technologique pour des populations ciblées de souscripteurs.

Il convient maintenant de faire la synthèse des attentes du secteur en termes d'outils et de fonctionnalités pour combler les besoins « collectifs » et « individuels » qui viennent d'être présentés. La formulation des attentes fonctionnelles rassemble des éléments de réflexions résultants des participations aux groupes de travail de la MRN, aux études contractuels menées au sein du CRC avec le monde de l'assurance mais aussi au travers d'entretiens avec différents professionnels de l'assurance spécialisés dans la branche dommages aux biens.

I.4. Les fonctionnalités attendues pour l'analyse des risques naturels

L'objet de ce sous chapitre est de décrire les attentes en termes de caractéristiques fonctionnelles pour répondre aux besoins d'analyse des risques naturels par le secteur de l'assurance ; les besoins « collectifs » pour suivre et renforcer la politique de prévention, et les besoins « individuels » pour évaluer les dommages sur les portefeuilles, aider à optimiser la souscription et le règlement des sinistre.

Les caractéristiques des fonctionnalités sont divisées en deux parties :
- la construction d'indicateurs à partir de données hétérogènes ;
- les capacités d'exploration des indicateurs dans l'espace et dans le temps.

I.4.1. La construction des indicateurs a partir de données hétérogènes

L'analyse des risques naturels repose sur le suivi d'indicateurs sur la vulnérabilité et l'estimation des pertes potentielles.

Un indicateur est entendu comme une variable ayant pour objet de mesurer ou d'apprécier un état ou une évolution d'un phénomène. Ce doit être une information simple (facilement compréhensible) qui peut-être quantifiée de manière claire, reproductible et rapide et doit synthétiser des phénomènes complexes à différentes échelles (parcelles, exploitation agricole, région, etc.…). Les indicateurs fournissent des informations au sujet d'un système complexe en vue de faciliter sa compréhension aux utilisateurs de sorte à ce qu'ils puissent prendre des décisions appropriées pour l'atteinte des objectifs [Voyer, 2000].

La consolidation des indicateurs repose sur l'intégration de données hétérogènes. L'hétérogénéité se manifeste sous plusieurs formes :

- hétérogénéité des sources ;
- hétérogénéité des contenus des données ;
- hétérogénéité des formats et des modes de stockage.

Afin de restituer des valeurs tangibles pour chaque indicateur, il faut que le décideur ou l'analyste puisse s'affranchir de ces contraintes sur les données et se concentre uniquement sur l'analyse en elle-même. Au niveau technologique cela nécessite de pouvoir en amont prendre en compte les spécificités des données afin de les extraire, les transformer et les rendre présentables dans un ensemble cohérent aux utilisateurs finaux.

I.4.1.i. Croiser des contenus des données hétérogènes

Dans le cadre de la problématique traitée à savoir l'assurance des risques naturels, les indicateurs nécessitent d'intégrer des contenus hétérogènes de données. Lorsqu'on s'intéresse par exemple à la mesure de l'exposition d'un portefeuille d'assurés il est nécessaire de croiser des données privées, concurrentielles (description des conditions financières des contrats d'assurance, typologie des biens assurés, localisation des objets de risque, montants des sinistres et des primes, etc.) avec des données publiques (zonages des aléas, résultats de modélisation, informations préventives) et des données mutualisées entre assureurs (courbes d'endommagement, taux de sinistralité). Or d'un côté la structuration et le stockage des données dans le système d'information d'une société d'assurance varie selon les organisations : la structuration et l'architecture des données s'allignent le schéma organisationnel de chaque entreprise. De l'autre côté, les contenus des données publiques divergent selon les régions et selon les méthodes de modélisation choisies. C'est particulièrement le cas pour l'inondation où chaque région a la liberté de choisir la méthode de modélisation pour la réalisation des Atlas des Zones Inondables (méthodes hydrologiques ou hydrogéomorphologiques ou cartographie des Plus Hautes Eaux Connues). En fonction de ces choix, la structuration des données décrivant une inondation va fortement varier : dans un cas l'inondation sera qualifiée par un niveau d'intensité (faible, moyen, fort), de l'autre par une classe de fréquence (fréquente, très fréquente, exceptionnelle) ou bien une période de retour (décennale, centennale, etc.) ou simplement par la date d'un événement passé.

De plus, pour analyser la vulnérabilité, les indicateurs doivent regrouper et croiser des données sur les aléas, sur les enjeux mais aussi sur la prévention. Par exemple, si l'on souhaite analyser l'indicateur du nombre de logements inondables dans une zone ayant un PPR appliqué alors les logements sont « les enjeux », les zones inondables sont « l'aléa » et l'information sur la présence du PPR sont « la prévention ». Les enjeux peuvent être décrits soit par des informations sur les permis de construire, soit des données statistiques sur les logements, soit toute autre information décrivant un bien assuré ou pas (contenu dans un portefeuille). Les aléas sont décrits en fonction des méthodes de modélisation utilisées tandis que les données sur la prévention sont contenues dans les cartes de zonage des PPR. Chaque commune a le choix de la méthode de représentation des zones réglementaires ce qui créé une grande hétérogénéité dans les modes de représentation.

L'hétérogénéité des contenus dépend pour l'essentiel des méthodes de réalisation des données des producteurs mais aussi des évolutions des spécifications des données. La consolidation des indicateurs nécessite de connaître précisément la nature des données à mobiliser pour pouvoir les intégrer dans un ensemble cohérent.

I.4.1.ii. Associer des données géographiques et non géographiques

Dans le cas des indicateurs relatifs aux risques naturels il convient de croiser des données géographiques avec des données non géographiques. Le caractère géographique des risques naturels nécessite d'être capable de relier des données géographiques et des données non géographiques : que ce soit pour qualifier un enjeu ou qualifier un aléa, chaque donnée doit être attachée à un objet géographique permettant de localiser le risque. Les données géographiques concernent à la fois l'emprise géographique d'un aléa (AZI, zones sismiques, zones de sécheresse géotechnique), la distribution géographique des enjeux (logements, sites assurés, etc.), le zonage des mesures réglementaires de prévention (plan de zonage réglementaire d'un PPR) ou encore les contours des entités administratives. Les données descriptives (enjeux, aléas, vulnérabilité, prévention, montants financiers, etc.) doivent nécessairement pouvoir être associées à un objet géographique (zone d'aléa, localisation d'un enjeu, zone réglementaire, etc.).

L'association des données géographiques et des données non géographiques doit mobiliser un nombre important de sources de données diverses et hétérogènes provenant de plusieurs producteurs différents. Ainsi pour ce qui concerne les aléas il faudra regrouper des cartes numérisées provenant des DIREN pour l'inondation, du BRGM pour la sécheresse, de la base GASPAR du MEEDDAT pour les informations administratives et les plans de zonage PPR, de l'INSEE pour les statistiques sur les logements et les entreprises, de l'IGN pour les contours administratifs et les données routières. Quant aux données sur les conditions d'assurance et la distribution des portefeuilles d'assurés il faudra mobiliser des données internes aux systèmes d'information des sociétés d'assurance. Cette diversité nécessite d'être capable de se connecter à ces sources et de les interroger pour en extraire le stricte nécessaire pour le calcul des indicateurs. L'utilisateur final doit s'affranchir de cette complexité et consulter les indicateurs dans un ensemble cohérent et homogène.

L'hétérogénéité des données est un point fondamental à prendre en compte dans la mise en place de solutions technologiques permettant de suivre des indicateurs sur les risques naturels pour le secteur de l'assurance. Pour chaque source il faudra étudier : le modèle de données associé, les droits d'usage et les licences, les contraintes liées aux formats et au type de stockage.

Afin de permettre l'analyse et le suivi des indicateurs il est nécessaire de pouvoir répondre à certaines caractéristiques concernant la navigation et l'exploration des données.

I.4.2. Les capacités d'exploration des indicateurs

L'analyse des risques naturels par les assureurs implique de pouvoir construire des outils permettant non seulement de supporter l'analyse mais aussi soumettre aux décideurs une vision claire et synthétique des phénomènes étudiés. Les solutions technologiques doivent permettre de suivre les indicateurs sur plusieurs axes thématiques, spatiaux et temporels, sur plusieurs niveaux hiérarchiques et comparer des indicateurs entre eux.

I.4.2.i. L'analyse multi-échelles

L'utilisateur final doit pouvoir réaliser des bilans globaux mais aussi zoomer sur le détail d'une zone particulière. Le niveau de l'analyse dépend non seulement du type d'indicateur mais aussi du type d'utilisateur.

Si l'on s'intéresse à l'analyse des PPR il faudra se concentrer sur les zones réglementaires et les constructions à l'intérieur des communes : il sera nécessaire de consulter les indicateurs à l'échelle infra-communale. Il sera aussi fondamental de constater l'ampleur du phénomène à l'échelle nationale. Si l'on s'intéresse à l'étude de l'avancement des mesures préventives alors il n'est pas forcément nécessaire de descendre à l'intérieur des communes puisque les indicateurs sont disponibles uniquement commune par commune. L'échelle nationale est aussi pertinente dans ce cas pour vérifier ou infirmer des hypothèses. Pour ce qui concerne l'évaluation des pertes financières sur les portefeuilles d'assurés il faudra voir le détail pour chaque lieu de risque et faire des bilans soit par bassin de risque soit par entité administrative depuis la commune jusqu'au niveau national soit pour un ou pour tous les portefeuilles d'une même société. Les niveaux globaux concernent des utilisateurs ayant un pouvoir de décision sur les orientations politiques et stratégiques sur la gestion de ces risques alors que les niveaux détaillés concerneront plus les gestionnaires opérationnels des risques : le choix de l'échelle d'analyse dépend de la population des utilisateurs et des décideurs. Quelque soit la position et le profil, l'utilisateur est intéressé à naviguer de façon transparente depuis le niveau agrégé vers le niveau détaillé et inversement. Par exemple, au sein d'une société d'assurance l'analyse d'indicateurs agrégés sur l'exposition des portefeuilles est pertinente à l'échelle d'une région géographique pour les responsables opérationnels régionaux de la souscription et des sinistres en charge de l'équilibre financier de leur entité. En revanche pour les entités sièges en charge de l'actuariat et des calculs de réassurance, une agrégation des indicateurs sur l'ensemble des régions est pertinente afin d'optimiser la couverture de réassurance.

L'analyse multi-échelles suggère aussi l'analyse multi-thématiques, c'est-à-dire disposer de plusieurs axes d'analyse et pas seulement être cantonné à un seul angle de vue.

I.4.2.ii. L'analyse multi-thématiques

Il apparaît que le suivi et l'analyse de la vulnérabilité et des pertes liées aux risques naturels nécessite de pouvoir suivre les indicateurs aussi bien dans l'espace que dans le temps et ce sur

des thématiques variées. Les indicateurs à consolider doivent prendre en compte ces trois composantes et être capable de les restituer.

Etant donné que les indicateurs sont les résultats de croisement et d'association de données géographiques et non géographiques, l'exploration doit être capable de voir géographiquement l'évolution du phénomène en passant d'une thématique à une autre de façon relativement fluide. Les thématiques sont relatives à différents axes comme la typologie des enjeux (passer d'un type de construction à un autre, passer d'un type de portefeuille à un autre), la typologie des aléas (passer d'un type de zone inondable à un autre, d'un type de zone argileuse ou d'un type de zone sismique à un autre), la typologie des zones réglementaires (étudier les zones d'interdiction mais aussi les zones de prescriptions). Comme pour l'analyse multi-échelles, l'analyse multi-thématiques doit pouvoir se focaliser sur un type en particulier mais aussi les comparer les uns avec les autres.

L'outil attendu doit donc offrir aux analystes et aux décideurs une capacité à explorer les indicateurs rapidement selon des axes thématiques donnés propres à la problématique des risques naturels. Un autre élément caractéristique de l'exploration des indicateurs consiste à pouvoir identifier des corrélations entre les indicateurs.

I.4.2.iii. L'analyse des corrélations

Certaines corrélations peuvent être pertinentes pour diagnostiquer des tendances autour de la problématique. Ainsi concernant l'évaluation de la politique de prévention de nombreuses corrélations sont pertinentes à l'échelle des communes comme notamment la mesure du nombre de logements en zone inondables à comparer avec le nombre d'arrêtés catastrophes naturelles et l'absence de PPR approuvé afin de mettre en parallèle une forte exposition avec un retard dans la mise en application des PPR et de l'information préventive. Il s'agit d'observer la densité des permis de construire dans les zones réglementées des PPR et de comparer avec un taux de survenance de catastrophes naturelles important pour ces mêmes zones. Ainsi il serait possible d'en déduire les zones où il faut renforcer la prévention. Concernant l'analyse sur l'exposition des portefeuilles assurés la corrélation entre les montants des primes acquises avec les sinistres passés et/ou avec les montants des dommages potentiels par bassin de risque est pertinente pour augmenter la lisibilité. En comparant ces indicateurs il est possible d'observer quels sont les scénarios ou les événements les plus sensibles en terme d'impact sur la solvabilité par exemple.

I.5. Conclusion du chapitre

Ce chapitre a présenté les éléments de contexte permettant de mieux comprendre le fonctionnement de l'assurance des risques naturels. Il a été montré qu'il y a dans les faits une tendance générale à l'accroissement de la vulnérabilité des biens et des personnes ce qui génère à terme de plus en plus de pertes financières pour les assureurs. La vulnérabilité a été présentée comme la confrontation des données sur les enjeux avec des données sur les aléas ; c'est par cette confrontation qu'il est possible d'évaluer les pertes financières potentielles

pour les assureurs. L'analyse de la vulnérabilité et des pertes qui en résultent est un sujet central pour les assureurs afin de mieux maîtriser leur approche sur les risques naturels. Le contexte réglementaire en France repose sur un principe de solidarité (régime catnat) et n'a jusqu'à présent pas véritablement poussé les assureurs à développer des compétences sur les risques naturels ; les assureurs interviennent pour la gestion des sinistres et le remboursement des assurés, c'est l'Etat qui est responsable et garant de la gestion structurelle des risques naturels. Or ce contexte réglementaire fait l'objet d'un projet de refonte au niveau national afin de désengager l'Etat d'une partie de la gestion opérationnelle des risques (réforme du régime catnat). Les assureurs, encadrés au niveau comptable par la directive Solvabilité II, vont devoir s'approprier les méthodes d'analyse et mettre en place des outils pour gérer des besoins collectifs (mutualisés pour l'ensemble de la profession) mais aussi des besoins individuels propres à la stratégie interne de chaque société d'assurance. Les besoins touchent à s'assurer de la pertinence et à l'efficacité de la politique de prévention auprès des assurés et des citoyens, mais aussi de pérenniser leur marge de solvabilité en cas de survenance d'événements catastrophiques naturels (calcul des SMP, suivi du ratio S/P et du ratio combiné).

Les outils disponibles sur le marché français ne sont pas assez aboutis pour répondre complètement aux attentes des assureurs. En effet, on voit émerger des outils s'orientant vers du zonage des risques naturels comme le SIGMRN, à l'image de ce qu'on peut observer aux Etats-Unis et en Allemagne, et de la modélisation de catastrophes via de la simulation d'événements majeurs (comme les outils ATHENA et ARTEMIS de la CCR) d'inspiration anglo-saxonne (RMS, EQECAT, AIR, etc.). Mais du fait de la nature hétérogène tant sur les données que sur les méthodes de modélisation produites par l'Etat pour cartographier les aléas et les PPR, il est très difficile de garantir la complétude tant sur la méthode que sur la couverture territoriale. Les décideurs ont pourtant besoin de suivre les indicateurs dans un environnement homogène et cohérent : la consolidation des indicateurs doit prendre en compte en amont ces problèmes méthodologiques. Les fonctionnalités attendues résident dans la capacité à intégrer des données géographiques et non géographiques, croiser des données ayant des contenus hétérogènes, et disposer de fonctionnalités d'exploration des indicateurs pour étudier les corrélations, passer d'un niveau de synthèse à un niveau détaillé et enfin pouvoir naviguer d'une thématique à une autre de façon fluide.

L'idée de la thèse est d'explorer le potentiel de la technologie géodécisionnelle pour tenter de répondre à ces attentes. Le prochain chapitre s'attache donc à décrire les notions, les concepts et les méthodes associées au domaine du géodécisionnel en montrant comment cela peut être transposé à la problématique des risques naturels.

CHAPITRE II. PRESENTATION DES FONDEMENTS CONCEPTUELS ET TECHNOLOGIQUES DES SYSTEMES D'INFORMATION GEODECISIONNELS

L'objectif de ce chapitre est de présenter les fondements du « géodécisionnel » proposée comme piste méthodologique et technologique exploratoire pour apporter des réponses à la problématique de l'assurance des risques naturels.

La gestion des risques naturels nécessite d'analyser un certain nombre d'indicateurs sur la vulnérabilité des enjeux (les biens, les personnes, les activités) susceptibles d'être affectés par la survenance d'un ou de plusieurs aléas. Comme présenté dans le chapitre précédent les indicateurs sont consolidés à partir de la confrontation de données ayant des contenus hétérogènes, associant des composantes géographiques et non géographiques, provenant de plusieurs sources différentes. Le croisement des données sur les aléas et sur les enjeux permet d'obtenir un premier diagnostic sur la vulnérabilité et d'en déduire les pertes financières. La composante géographique est essentielle à prendre en compte pour pouvoir réaliser ces croisements. Que ce soit pour la caractérisation des aléas comme des enjeux, il y a une représentation géographique associée : un aléa est caractérisé par une emprise géographique et une intensité variable d'une zone à une autre du bassin de risque étudié, les enjeux sont caractérisés par une localisation et une distribution spatiale sur le territoire.

L'exploration de ces indicateurs sous-tend la manipulation d'un volume important d'informations géographiques et non géographiques. Une vision complète des phénomènes nécessite de pouvoir étudier les valeurs des indicateurs à des échelles détaillées comme à des échelles agrégées au travers de vues de synthèse ; le passage d'une échelle géographique détaillée comme une parcelle cadastrale à une échelle nationale implique une capacité à gérer de gros volumes de données. Les modes de stockage et d'interrogation des indicateurs doivent permettre de restituer à l'utilisateur les résultats de la façon la plus pragmatique possible.

Les Systèmes d'Information Décisionnels (SID), utilisés au sein des systèmes d'information d'entreprise, permettent aux décideurs d'accéder à des fonctionnalités d'analyse et de reporting à partir de données collectées dans les diverses sources de données distribuées dans le système d'information de l'entreprise. Les SID sont entendus comme l'ensemble des moyens, des outils et des méthodes qui permettent de collecter, consolider, modéliser et restituer les données d'une entreprise en vue d'offrir une aide à la décision et de permettre aux responsables de la stratégie d'une entreprise de voir de façon synthétique l'ensemble de l'activité traitée. Ils reposent sur une méthode de modélisation de données dite multidimensionnelle permettant de construire des structures de données orientées par thème afin de pouvoir explorer et analyser les données pour la prise de décision.

Afin de répondre à des problématiques d'entreprise ayant une composante géographique, certains systèmes décisionnels tentent de se doter d'extensions géographiques en intégrant des

fonctionnalités propres aux sciences de la géomatique. Celle-ci est entendue comme l'ensemble des méthodes et outils permettant de représenter, d'analyser et d'intégrer des données géographiques autour de trois activités que sont la collecte, le traitement et la diffusion.

Le domaine des systèmes d'information géodécisionnel (SIGD) est émergent ; par conséquent la définition n'est pas encore stabilisée sur un plan académique. Le terme de Système d'Information Géographique intelligent est utilisé comme synonyme du terme géodécisionnel ce qui constitue une notion trop vague pour l'auteur. Le terme « géodécisionnel » sera utilisé tout au long du document comme un type de système d'information associant les fonctionnalités des SID et celles de la géomatique.

Au sens de l'auteur, le géodécisionnel se définit de la façon suivante :

Le géodécisionnel constitue une discipline technologique regroupant l'ensemble des moyens, outils et méthodes permettant de collecter, consolider, modéliser et restituer des données en vue d'offrir des capacités d'analyse globales et détaillées dans l'espace et dans le temps.

Ces systèmes reposent sur une méthode de modélisation dite « spatiale multidimensionnelle ». L'objet de ce chapitre est de décrire les fondements méthodologiques du géodécisionnel en les transposant à la problématique des risques naturels au travers d'exemples didactiques.

Dans un premier temps l'objectif est de présenter les fondements des SID comme indispensables pré-requis à la compréhension des SIGD. On montre le positionnement des SID dans le système d'information des entreprises, les éléments de définition et d'architecture applicative. Puis on s'attarde sur la modélisation multidimensionnelle d'abord sous l'angle de la modélisation conceptuelle puis sous l'angle de la modélisation logique. L'illustration de la méthode de modélisation est faite à partir de l'exemple de l'analyse d'indicateurs sur l'évaluation de sites assurés aux inondations sans raisonnement géographique.

Dans un second temps l'objectif est d'étendre la présentation aux fondements des SIGD en montrant les apports au-delà de la géomatique et au-delà des SID. Puis la modélisation spatiale multidimensionnelle est présentée au travers du prolongement de l'exemple présenté précédemment en intégrant cette fois la composante géographique. Enfin des exemples d'applications géodécisionnelles sont présentés en distinguant les cas appliqués aux risques naturels et ceux appliqués au secteur de l'assurance.

II.1. La modélisation dans les systèmes informatiques décisionnels

L'objectif de ce sous-chapitre est de présenter dans un premier temps les fondements théoriques et méthodologiques du décisionnel et dans un second temps une transposition d'un cas simple de modélisation multidimensionnel appliqué au domaine des risques naturels.

II.1.1. Définition des systèmes d'information décisionnels

II.1.1.i. L'utilité des systèmes décisionnels

Les systèmes d'information décisionnels (SID) sont nés d'un besoin des entreprises de fournir aux décideurs des moyens d'accéder aux données de leurs propres systèmes dans le but de piloter leurs activités. Ces moyens ne sont pas satisfaits par les systèmes de gestion de bases de données traditionnels. En effet ceux-ci fonctionnent selon un mode dit transactionnel c'est-à-dire conçus spécifiquement pour ajouter, modifier, supprimer des données propres à une activité métier. Le mode transactionnel est désigné sous le terme OLTP (« On-Line Transactionnal Processing »). Dès lors qu'il s'agit de faire du reporting ou de l'analyse de données pour piloter l'activité les systèmes informatiques se sont rapidement trouvés limités ; pour arriver à fournir des tableaux de synthèse pour les équipes de direction il fallait mettre en place des requêtes complexes, coûteuses en temps de réponse et en ressources informatiques.

Les SID sont apparus comme une nécessité pour faire face à l'augmentation des volumes de données et à la difficulté grandissante des décideurs à disposer de résultats tangibles sur les différentes branches d'activité. Des outils ont été conçus spécifiquement pour extraire les données provenant de sources hétérogènes, les stocker dans un ensemble homogène orienté métier puis enfin restituer les résultats dans des interfaces d'analyse et de reporting. On peut citer l'outil DataStage édité par IBM[1] et les outils Informatica[2]. Ces outils sont mis à la disposition des décideurs pour supporter de manière efficace leurs prises de décision [Codd 1993] [Inmon 1994] [Chaudhuri et al. 1997].

Dans le secteur de l'assurance comme dans d'autres secteurs industriels, les processus OLAP sont utilisés pour les fonctions de reporting auprès des directions techniques et des équipes de directions afin de suivre l'évolution de leurs branches d'activité (suivi des achats, des ventes, de la production, etc.). Les valeurs suivies sont souvent quantitatives et financières : montants des ventes, chiffres d'affaires par magasin, niveaux de rentabilité des points de vente, etc. Parfois les valeurs suivies sont qualitatives comme des notations sur l'appréciation des performances : satisfaction des clients, satisfaction des actionnaires, satisfaction des partenaires et des employés. Les outils d'analyse et de reporting permettent de naviguer à l'intérieur des processus décisionnels et des entrepôts de données ou magasins de données pour consulter les résultats des indicateurs suivant les axes thématiques métiers choisis pour

[1] http://www-01.ibm.com/software/data/infosphere/datastage/

[2] http://www.informatica.com/FR/

la conception de ces structures de données qu'on appelle aussi « cube de données ». A titre d'exemple une société d'assurance consolide des cubes dédiés à des thèmes comme la production (encaissements des primes par branche et par produit), sur les sinistres (par type de sinistre), sur les forces commerciales (les distributeurs agents, courtiers, réseau salariés), sur la productivité (par processus métiers, par engagement de service) ou bien sur des spécialités comme la réassurance ou la coassurance. D'autres cubes sont orientés spécifiquement sur le pilotage technique intégrant à la fois des données de production et des données sur les sinistres (calcul du S/P et du ratio combiné, calcul du bonus malus, etc.).

Le pilotage stratégique global repose davantage sur le concept de tableau de bord permettant d'avoir une vue d'ensemble de la situation de l'entreprise. Les indicateurs de performance sont jaugés et présentés sur des axes intégrant à la fois la performance financière, la satisfaction des clients, la mesure des processus métiers et le degré d'apprentissage organisationnel au travers de l'amélioration continue des processus. C'est ce qui est défini dans le Tableau de Bord (TDB) Prospectif de Kaplan et Norton [Kaplan et al., 1996]. Cette démarche conduit à industrialiser la stratégie de l'entreprise depuis une vision globale jusqu'à une vision opérationnelle par le biais d'indicateurs mesurables et concrets (ces indicateurs pouvant être quantitatifs ou bien qualitatifs). Les SID constituent un socle de base pour alimenter et consolider ces TDB.

Dans la vision de Lebraty ([Lebraty, 2008]) « d'une architecture technologique décisionnelle » du système d'information de l'entreprise, le SID se positionne comme un bloc support dans un environnement tridimensionnel :

- les processus métiers qui sont transverses à l'organisation de l'entreprise (ex : gestion de la relation client, gestion des prestataires, gestion de la production)
- les fonctions spécialisées qui sont propres à chaque service ou département de l'organisation de l'entreprises (ex : comptabilité, commercial, production)
- le décisionnel comme support aux décisions opérationnelles et aux décisions stratégiques

La figure 12 montre la transposition de cette architecture tri-dimensionnelle à l'environnement d'une société d'assurance.

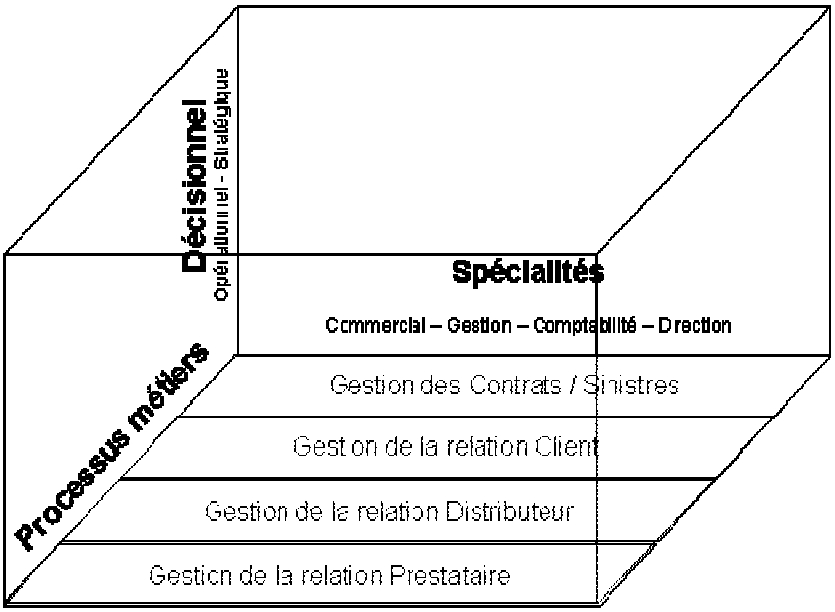


Figure 11 – Positionnement fonctionnel du décisionnel appliqué à une société d'assurance

Après avoir présenté le positionnement technologique mais aussi les besoins fonctionnels adressés par le décisionnel il convient de donner des éléments d'architecture pour comprendre le positionnement des SID dans le schéma d'urbanisme du système d'information d'une société d'assurance.

II.1.1.ii. L'architecture décisionnelle

Le SID n'est pas intégré dans le Système d'Information Opérationnel (SIO) de l'entreprise. Ce dernier est entendu comme la partie contenant l'ensemble des données transactionnelles enregistrées lors des actes de gestion réalisés par les opérateurs de l'entreprise. Si l'on prend l'exemple d'une société d'assurance, les bases de données opérationnelles vont essentiellement contenir les contrats d'assurance souscrits, les sinistres des clients, les missions des experts et des réparateurs, les informations sur les clients, les produits commerciaux, les garanties et les règles de gestion associées. Les opérateurs sont les souscripteurs, les gestionnaires de sinistre, les agents généraux, les courtiers voir même les clients eux même.

Le SIO contient le vivier de données exploitable par la suite pour l'analyse dans les SID. En effet la construction des indicateurs pour le reporting et le pilotage consiste à puiser dans les données transactionnelles. Les utilisateurs finaux d'un SID au sein d'une société d'assurance sont les membres de la direction technique, les actuaires, les équipes de direction régionales, les services financiers et comptables et enfin la direction générale.

Un des traits de la distinction entre le SIO et le SID réside dans l'architecture du système de stockage des données. Dans un SIO l'environnement transactionnel de stockage pour les sociétés d'assurance repose historiquement sur des environnements de type MainFrame ou « Ordinateur Central » en français. De par leur fiabilité et leur puissance, ils sont parfois les seuls ordinateurs capables de répondre aux besoins de leurs utilisateurs (traitement de très grandes banques de données accédées par des dizaines ou des centaines de milliers d'utilisateurs). Dans ce type d'environnement les données sont stockées dans des fichiers de type VSAM ou bien dans des Systèmes de Gestion de Bases de Données Relationnels (SGBDR) comme DB2. D'autres environnements transactionnels hors MainFrame utilisent des SGBD comme ORACLE, MySQL ou SQL Server comme mode de stockage.

La modélisation relationnelle conçue par Codd dans les années 60 chez IBM [Codd, 1970] repose sur un stockage sous forme de tables avec un système de normalisation pour éviter la redondance lors de la saisie, l'unicité et l'intégrité des données en s'appuyant sur les principes de l'algèbre relationnelle (théorie des ensembles, logique des prédicats du premier ordre). Mais ce mode de stockage ne propose pas de fonctions de synthèse, d'analyse et de consolidation nécessaires à la prise de décision (par exemple il sera difficile de savoir quel est le nombre de ventes du produit X pendant le trimestre A de l'année B dans la région C avec un environnement relationnel). C'est en 1993 que Codd établi douze règles d'architecture pour mettre en place des structures dites multidimensionnelles. Parmi ces règles, les caractéristiques d'une structure multidimensionnelle sont :

- orientée-sujet : signifie que les données sont structurées selon des centres d'intérêt des managers. Afin de réaliser une telle structure de données, de nouveaux modèles de données ont été mis en œuvre (modèle multidimensionnel en étoiles ou en flocons)
- intégrée : les données proviennent de différentes sources et sont réunies au sein de l'entrepôt de données
- évoluant avec le temps : chacune des données est liée à une date
- non volatile : les données sont conservées et pas remplacées dans un processus de mise à jour.

Finalement Kimball [Kimball, 1996] et Immon [Immon, 1996] vont exploiter ces règles pour définir les méthodes de conception des entrepôts de données (datawarehouse DW). Un Datawarehouse ou « Entrepôt de données » se définit comme suit :

« Un système de DW organise et conserve les données nécessaires aux processus informationnels et analytiques dans une perspective de long terme. Ce système correspond à un ensemble de données orientées selon un sujet, intégrées, évoluant dans le temps et non volatiles, qui a pour but l'aide au processus de prise de décision de gestion » [Immon, 1996]

Les Datawarehouses peuvent être découpés en Datamarts ou « Magasins de données » pour cibler encore plus finement les problématiques et se focaliser sur la décision autour d'un thème particulier.

Dans la littérature spécialisée en informatique, certains autres termes désignent les SID. On parle notamment de processus OLAP (On-Line Analytical Processing) qui constituent le moteur d'analyse des entrepôts de données dans un environnement multidimensionnel via des

opérateurs d'interrogation spécifique. Cela permet d'accéder aux valeurs des indicateurs précalculés, prétraités et stockés dans un entrepôt de données suivant un modèle multidimensionnel. Grâce aux opérateurs OLAP l'utilisateur va accéder rapidement et de façon intuitive à ces valeurs. L'OLAP caractérise le monde du décisionnel et du multidimensionnel alors que l'OLTP caractérise le monde du transactionnel et du relationnel. Le tableau 3, extrait de [Teste, 2000], compare les processus OLTP et OLAP.

	Processus OLTP	**Processus OLAP**
Données	Exhaustives Courantes Dynamiques Orientées applications	Résumées Historiques Statiques Orientées sujets (d'analyse)
Utilisateurs	Nombreux Variés (employés, directeurs,…) Concurrents Mises à jour et interrogations Requêtes prédéfinies Accès à peu d'information	Peu nombreux Uniquement les décideurs Non concurrents Interrogations Requêtes imprévisibles et complexes Réponses rapides Accès à de nombreuses informations

Tableau 3 - Comparaison des processus OLTP et OLAP (extrait de [Teste, 2000])

L'architecture technique intègre trois blocs essentiels :

- **Acquisition et l'intégration des données** à partir de sources données hétérogènes : il s'agit de l'alimentation des données pour traiter les problématiques grâce à des services d'extraction, de transformation et de chargement.
- **Management des données** : centralisation des données et des résultats dans les entrepôts des données et gestion des métadonnées de l'entrepôt ;
- **Distribution et l'interrogation des données** : stockage dans des magasins de données et restitution au travers d'outils d'analyse et tableaux de bord.

Ainsi la figure 13 illustre le fonctionnement des SID avec les entrepôts de données, les moteurs OLAP et les données sources provenant du SIO.

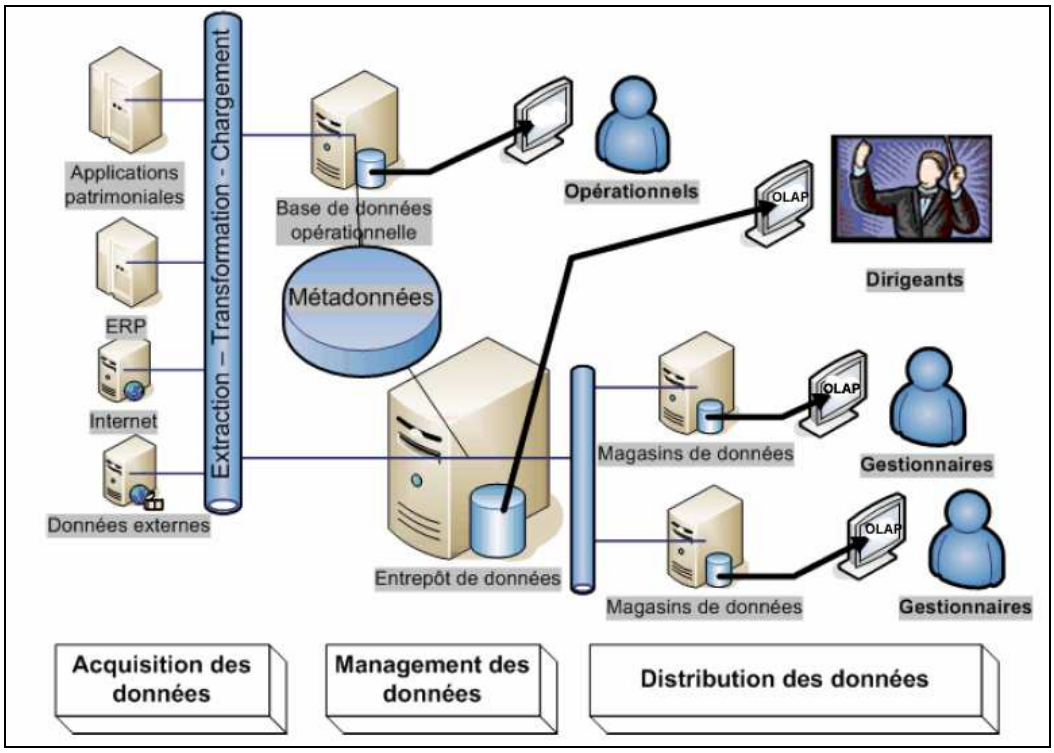


Figure 12 – Architecture décisionnelle fondée sur un entrepôt de données [Lebraty, 2006]

Tandis que les bases de données opérationnelles reposent traditionnellement sur une modélisation relationnelle fondée sur les concepts d'entité et d'association, les entrepôts de données reposent typiquement sur une modélisation multidimensionnelle des données. Afin de bien comprendre les fondements des systèmes décisionnels il est nécessaire de décrire les concepts et notions clés relatives à la modélisation multidimensionnelle des données. La méthode de modélisation est illustrée par une transposition à un cas d'étude d'assurance des risques naturels.

II.1.2. Transposition de la Modélisation Multidimensionnelle

La modélisation multidimensionnelle consiste à considérer un sujet analysé comme un point dans un espace à plusieurs dimensions [Teste, 2000]. Il s'agit d'une méthode de conception logique qui vise à présenter les données sous une forme standardisée intuitive et qui permet des accès hautement performants. La modélisation multidimensionnelle permet de structurer les données en accord avec la représentation mentale que se fait le décideur ou l'analyse d'un sujet ou d'une problématique ; la conception en amont prend en compte cet aspect cognitif pour garantir une interactivité forte avec les utilisateurs finaux. Ce sous-chapitre se veut pédagogique au travers d'une transposition de l'application méthodologique de la modélisation multidimensionnelle appliquée à un exemple de la problématique de l'assurance des risques naturels en France. La problématique que l'on souhaite traiter dans cet exemple concerne les sites assurés situés dans des communes identifiées comme étant exposées aux inondations. L'analyse doit pouvoir être faite par type de bâti, par type d'activité et mesurable dans le temps. Dans ce cas la notion d'exposition est très relative puisque aucun traitement

géographique n'est utilisé ni visualisé à ce stade. On fait l'hypothèse que le site assuré est exposé à partir du moment où son adresse est située dans une commune ayant connu des arrêtés de catastrophes naturelles pour le péril inondation. L'objectif de cette problématique est de fournir des éléments de décision à une société d'assurance pour hiérarchiser les priorités d'action pour la prévention de leurs entreprises assurées ; investiguer d'avantage sur la modélisation des inondations, proposer un plan d'action pour réduire la vulnérabilité aux inondations. On distingue la modélisation conceptuelle et la modélisation logique.

II.1.2.i. Modélisation conceptuelle

La modélisation multidimensionnelle repose sur deux concepts clés à savoir le « Fait » et la « Dimension » [Kimball, 1996].

II.1.2.i.1. Le concept de Fait

Le « Fait » se définit comme l'élément qui modélise le sujet de l'analyse. Un « Fait » est formé de « Mesures » aux informations de l'activité analysée. Les « Mesures » d'un « Fait » sont numériques pour permettre de résumer un grand nombre d'enregistrements en quelques enregistrements (on peut les additionner, les dénombrer ou bien calculer la moyenne, le minimum ou le maximum). Les « Faits » sont dits « additifs » ou « semi additifs » afin de pouvoir les combiner avec des opérateurs arithmétiques.

Le cas d'étude que l'on souhaite traiter consiste à comptabiliser les sites assurés appartenant à une commune qui a connu des arrêtés catastrophes naturelles relatifs aux inondations par type de construction et par type d'activité. Le « Fait » correspond à un enregistrement d'une combinaison d'analyses. A titre d'exemple un « Fait » de ce modèle pourrait être : le nombre de sites assurés appartenant à la commune d'Antibes ayant connu 11 arrêtés catnat inondation avec une construction en maçonnerie et exerçant une activité de commerce.

Dans cette exemple une seule mesure est observée, il s'agit de la comptabilisation simple du « nombre de sites assurés ». Or il est possible d'associer plusieurs « Mesures » pour un même « Fait ». Ainsi on peut utiliser les « Mesures » supplémentaires suivantes :

- **Chiffre d'affaire total** (pour tous les sites assurés comptabilisés)
- **Montant total des primes perçues** (pour tous les sites assurés comptabilisés)
- **Montant total des sinistres** (pour tous les sites assurés comptabilisés)
- **Ratio sinistre / Prime** (pourcentage calculé à partir des deux mesures précédentes)

Pour chacune des mesures des agrégations et des calculs arithmétiques sont effectués pour obtenir la valeur correspondant à la combinaison d'analyse de chaque « Fait ».

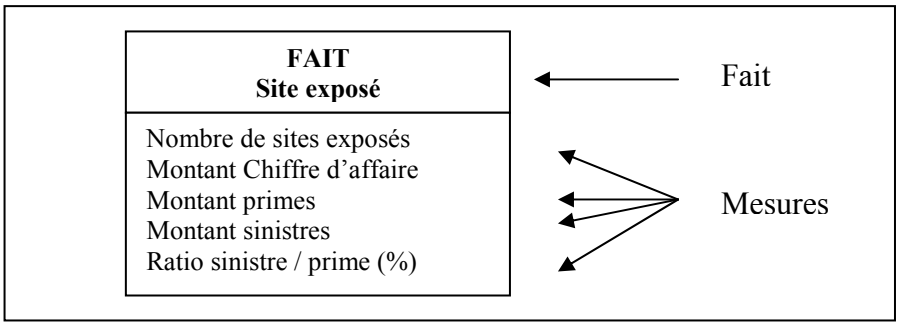


Figure 13 – Illustration graphique du « Fait » « Site exposé »

II.1.2.i.2. Le concept de Dimension

Le « Fait » est analysé suivant différentes perspectives. Ces perspectives correspondent à une catégorie utilisée pour caractériser les mesures de l'activité analysée ; on parle de « Dimensions » [Kimball, 1996].

Une « Dimension » se définit comme ce qui modélise une perspective de l'analyse. Elle se compose de « Membres » correspondant aux informations faisant varier les mesures de l'activité.

Les « Dimensions » servent donc à enregistrer les valeurs pour lesquelles sont analysées les mesures de l'activité. Les « Membres » sont à la fois textuels et discrets. Les « Membres » textuels sont utilisés pour restreindre la portée des requêtes afin de limiter la taille des réponses. Les « Membres » sont discrets c'est-à-dire que les valeurs possibles sont bien déterminées et sont des descripteurs constants.

Considérant toujours l'exemple de l'activité d'analyser les sites exposés, le « Fait » « Site exposé » peut être analysé suivant différentes perspectives c'est-à-dire selon quatre dimensions : « Géographie », « Activité », « Construction », « Temps ». Un exemple de « Membre » pour chaque « Dimension » serait : la commune d' « Antibes » pour « Géographie », l'activité « Commerce » pour « Activité », la « Maçonnerie » pour « Construction » et « 2007 » pour « Temps ».

On distingue deux types de dimension :

- les « Dimension temporelles » : il s'agit des « Dimensions » qui contiennent les notions de durée pour l'analyse. C'est ce qui permet de fixer les pas de temps de l'analyse : on va étudier les indicateurs des « Mesures » sur une unité de temps donnée (l'année, le mois, le jour, l'heure, etc.). Il est important de choisir le niveau de granularité pertinent pour l'analyse car plus le niveau est fin et plus le volume de calculs est important à fournir.
- les « Dimension descriptives » : il s'agit des « Dimensions » classiques décrites précédemment.

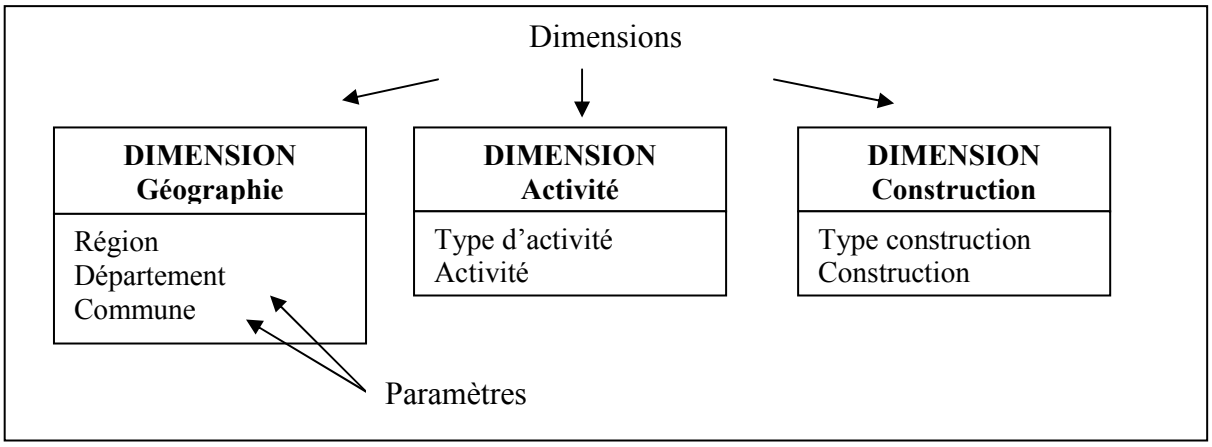


Figure 14 – Illustration graphique des « Dimensions » : « Géographie », « Activité », « Construction »

II.1.2.i.3. La notion de Hiérarchie

Le processus OLAP doit permettre d'analyser les données d'un faible niveau de détail vers un niveau de détail plus fin au travers d'une opération appelée « forage vers le bas ». Afin de définir ces différents niveaux, chaque « Dimension » est structurée selon une « Hiérarchie » (parfois plusieurs pour une même « Dimension »). La « Hiérarchie » sert à accroître ou à décroître le niveau de détail de l'analyse. Plus on monte dans les niveaux hiérarchiques de la ou les « Dimensions » et plus il faudra réaliser d'agrégation des valeurs des « Mesures » de chaque « Fait ».

Une « Hiérarchie » se définit comme l'organisation des « Membres » d'une « Dimension » selon une relation « est_plus_fin » conformément à leur niveau de détail.

Concernant l'exemple la hiérarchie de la dimension « Géographie » peut être représentée avec la relation « est_plus_fin » comme le montre la figure 16.

Figure 15 – Illustration graphique de la « Hiérarchie » de la « Dimension » : « Géographie »

II.1.2.i.4. Les techniques de modélisation

A partir du « Fait » et des « Dimensions » associées, il est possible d'établir une structure de données simple qui correspond au besoin de la modélisation multidimensionnelle. Cette structure est constituée du « Fait » central et des « Dimensions » gravitant autour. Ce modèle représente visuellement une étoile, on parle de « modèle en étoile » (*star schema* [Kimball 1996]).

Concernant l'exemple en cours, la représentation du « schéma en étoile » serait comme présentée dans la figure 17.

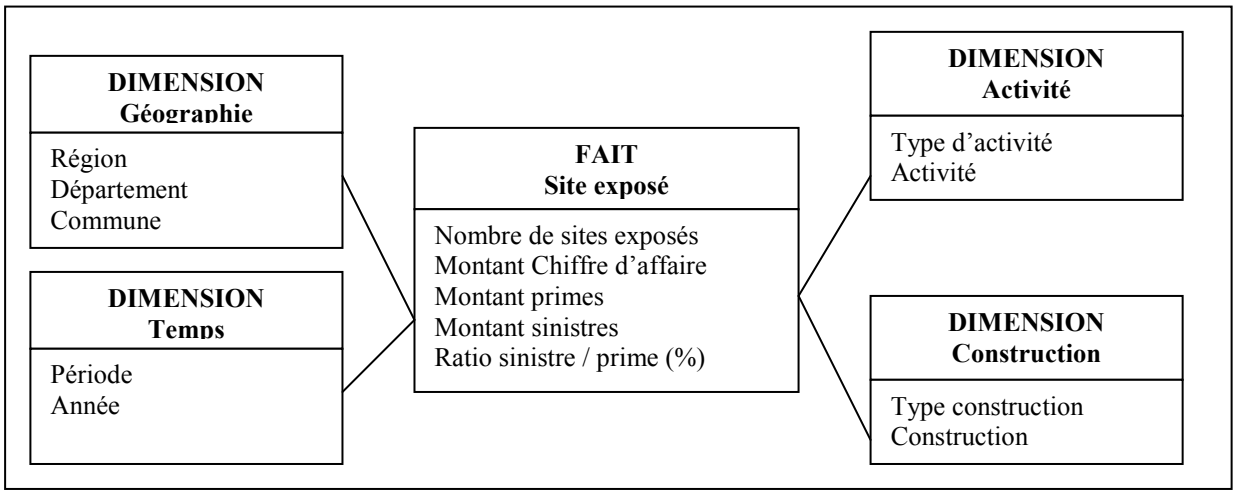


Figure 16 – Illustration graphique du schéma en étoile

D'autres techniques physiques de modélisation multidimensionnelle existent, comme notamment la modélisation en flocons (*snowflake*). Une modélisation en flocons consiste à décomposer les « Dimensions » du modèle en étoile en sous « Hiérarchies ». La modélisation en flocon est donc une dérivation de la modélisation en étoile ; le « Fait » est conservé et les « Dimensions » sont éclatées conformément à sa « Hiérarchie » des « Membres ». Cela permet de formaliser une « Hiérarchie » afin de minimiser les redondances et le volume de données, en revanche cela alourdit la structure de données car cette modélisation induit une décomposition des « Dimensions » générant une plus grande complexité. Une illustration de la modélisation en flocons est présentée dans la figure 18.

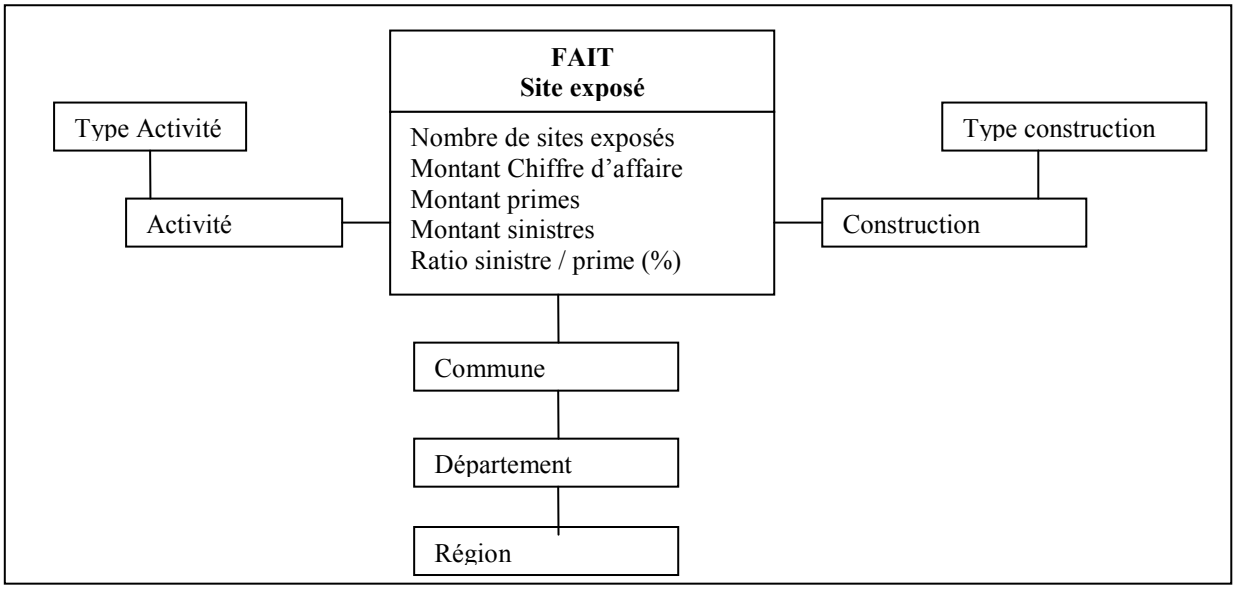


Figure 17 – Illustration graphique du schéma en flocon

Une autre technique de modélisation est le « modèle en constellation ». Il s'agit de la fusion de plusieurs modèles en étoile à partir des « Dimensions » communes aux deux modèles. Pour ce type de modélisation on a donc plusieurs « Faits » différents, des « Dimensions » communes aux deux modèles et des « Dimensions » distinctes. Cette technique permet d'éviter de reproduire des « Dimensions » déjà créée pour des modèles existants. On parle aussi de « Bus de dimensions » où toutes les « Dimensions » sont réutilisables et les « Faits » sont connectés à un lot de « Dimensions » contenu dans le « Bus ».

II.1.2.ii. Modélisation logique

La performance des SID est liée à l'architecture de la structure de données. La modélisation logique de données consiste à décrire les caractéristiques d'implémentation de la structure de données multidimensionnelle. Il est possible d'utiliser un système de gestion de base de données (SGBD) tel que les SGBD relationnels (ROLAP pour Relational OLAP) ou bien un système de gestion de base de données multidimensionnelle (MOLAP pour Multidimensional OLAP).

II.1.2.ii.1. ROLAP

L'approche ROLAP (Relational Online Analytical Processing) est la plus utilisée. La structure multidimensionnelle de données est stockée dans un système de gestion de base de données relationnel. Dans un environnement ROLAP le modèle multidimensionnel se modélise de la façon suivante :

I. A chaque « Fait » correspond une table, appelée « Table de Fait »
II. A chaque « Dimension » correspond une table appelée « Table de Dimension »

La « Table de Fait » comporte des attributs qui sont les « Mesures » d'activité et des attributs correspondant aux clés étrangères de chacune des « Tables de Dimension ».

La « Table de Dimension » contient tous les enregistrements des « Membres » pour chaque niveau de la « Hiérarchie ». Pour chaque « Membre » il y a un champ pour l'identifiant unique et un champ pour l'attribut textuel. L'identifiant unique des membres du niveau le plus fin et des membres des niveaux de la hiérarchie est la clé primaire de la « Table de Dimension » qui sert à faire la jointure avec la « Table de Fait ». Concernant l'exemple des sites exposés le modèle logique serait le suivant :

Site Exposé *(cle_Commune | cle_Departement | cle_Region, cle_Activite | cle_Type_Activite, cle_Construction | cle_Type_Construction, Nombre de sites exposés, Montant Chiffre d'affaire, Montant primes, Montant sinistres, Ratio sinistre / prime)*

Geographie *(cle_Commune, Nom Commune, cle_Departement, Nom Département, cle_Region, Nom Région)*

Construction *(cle_Construction, Nom construction, cle_Type_Construction, Nom type construction)*

Activite *(cle_Activite, Nom activité, cle_Type_Activite, Type Activité)*

II.1.2.ii.2. MOLAP

L'approche MOLAP (Multidimensional Online Analytical Processing) permet d'exploiter des structures multidimensionnelles natives. Les structures multidimensionnelles natives sont des tableaux à « n » dimensions. Pour nommer ces structures les termes de « Cube », d' « Hypercube »[3] et de tableau multidimensionnel sont utilisés. Les temps d'accès sont optimisés grâce des opérateurs requêtage spécifiques pour interroger ce type de structure.

II.1.2.ii.3. HOLAP

L'architecture HOLAP (Hybrid Online Analytical Processing) est un croisement des architectures MOLAP et ROLAP. Les données détaillées de l'entrepôt sont stockées dans une base de données relationnelle et les données agrégées sont stockées dans une base de données multidimensionnelle.

II.1.2.ii.4. Les opérations OLAP

Une fois les cubes conçus avec une architecture donnée les outils d'analyse ont la possibilité d'accéder aux informations stockées dans la « Table de Fait » à l'aide d'opérations OLAP. Ces opérateurs permettent de consulter les mesures de la table de faits tout en changeant « Membres » et les niveaux hiérarchiques sélectionnés dans les différentes « Dimensions ». Les opérations les plus classiques sont les suivantes :

- Forer (drill-down) : permet de descendre dans la « Hiérarchie » de la « Dimension ».
- Remonter (drill-up) : permet de remonter dans la « Hiérarchie » de la « Dimension ».
- Pivoter : permet d'interchanger deux « Dimensions ».
- Forer latéralement : permet de passer d'un « Membre » à un autre dans une même « Dimension ». Cela s'applique aussi au passage d'une mesure à une autre.

Dans l'exemple sur les sites exposés, les opérations OLAP sont utilisées pour interroger le cube pour consolider les analyses. En l'occurrence voici quelques exemples de résultats :
Le « Montant total en chiffre d'affaires » des sites exposés dans le « Département » du « Loiret » ayant pour activité la « Microélectronique », et dont la construction est en « Maçonnerie » (matériau sensible aux inondations). L'opération de « Forer » permettra de descendre d'un niveau (jusqu'au niveau le plus fin) sur une des « Dimensions », par exemple pour analyser les mêmes mesures mais au niveau Commune de la « Dimension » « Géographie » comme « Orléans ». L'opération de « Remonter » à l'inverse permettra d'analyser sur un niveau plus global par exemple on prendra l'ensemble des « Activités »

[3] Dans la suite de l'étude les termes de « Cube » et d' « Hypercube » seront utilisés pour désignés un modèle multidimensionnelle ou spatial multidimensionnel quelque soit le modèle logique utilisé (ROLAP, MOLAP ou HOLAP)

d' « Entreposage » plus global que la microélectronique. Tandis que « Forer latéralement » permet de changer de « Membre » dans une « Dimension » ; passer de la « Construction » en « Maçonnerie » à « Bois » ou « Béton ».

Les opérations OLAP se font à partir d'une interface de restitution qui permet de générer des vues graphiques ou tabulaires, sur lesquels il est possible d'effectuer l'ensemble des opérations. L'interface de restitution permet sur le cas modélisé de lister les communes pour lesquelles il y a une forte concentration d'assurés et de faire des comparaisons entre les segments d'activité, les types de construction, et d'observer la comptabilisation des sites au regard des montants financiers en jeux afin identifier une densité d'assurés.

II.1.2.ii.5. Principe d'agrégation de données

Les agrégations de données sont au cœur des opérations des processus OLAP car dès lors que l'on souhaite changer de niveau dans la « Hiérarchie » d'une « Dimension » il est nécessaire de calculer l'agrégation des « Mesures » pour la combinaison choisie par l'utilisateur depuis l'interface de restitution. Afin de fournir rapidement les résultats au décideur il est nécessaire d'optimiser le temps de calcul sur les « Faits » et donc de prendre en compte les demandes d'agrégations de l'utilisateur. Un exemple de requête agrégative sur le cas d'étude est :

Quel est le nombre de sites assurés dans des communes ayant connues des inondations dans le département du Gard pour les constructions en maçonnerie pour l'ensemble des activités industrielles?

Cette requête se situe à un niveau de granularité supérieur à celui des données en entrée de l'entrepôt ; elle ne se réfère plus à des données détaillées et nécessite ainsi une opération d'agrégation.

Une « Agrégation » (un agrégat) est obtenue en effectuant une opération, souvent la somme, de plusieurs données détaillées [Lenz, 1997]. La somme, le maximum, le minimum, le compte sont des fonctions agrégatives.

Une méthode efficace pour accélérer le traitement des requêtes agrégatives est le pré-calcul et le stockage du résultat de ces agrégations dans la structure de données multidimensionnelle [Shukla et al., 1996], [Greenfield, 2005]. Les résultats obtenus portent alors le nom de données agrégées/résumées.

Pour une configuration ROLAP, les agrégations pré-calculées sont enregistrées physiquement (matérialisées) dans la base de données relationnelle. Lorsque le résultat d'une requête agrégative est matérialisé dans la base de données, le serveur ROLAP le recueille directement et l'affiche rapidement. Les temps de réponse deviennent alors satisfaisants pour les analystes exigeant en terme de rapidité des temps de réponse. Plus il y aura de combinaisons de « Dimensions » (nombre de « Membres » et nombre de niveaux « Hiérarchiques ») et plus le « Cube » de données sera volumineux.

Il peut être considéré comme anormal de calculer à l'avance les agrégations et de les stocker en base de données. Dans le cas où les agrégations ne sont pas calculées à l'avance on parle alors d'agrégation à la volée. Le stockage de données est alors réservé uniquement aux « Faits détaillés » c'est-à-dire aux combinaisons des « Membres » des niveaux les plus fins de chaque « Dimension ».

II.1.3. Synthèse

Ce sous chapitre a permis de comprendre quels sont les notions et les concepts clés associés au décisionnel. Un certain nombre de définitions ont été mises en avant afin de consolider un lexique cohérent de termes sur lequel il sera possible de s'appuyer dans la suite du manuscrit. Il a été montré qu'il est possible de transposer la méthodologie multidimensionnelle pour la problématique des risques naturels sur un exemple simple d'une société souhaitant prioriser les communes sur lesquelles il est nécessaire de renforcer la prévention auprès de ses assurés. L'exemple présenté reste limité pour la société d'assurance en ce qui concerne le suivi de ses engagements dans des communes ayant connu des inondations ; la composante spatiale n'est pas prise en compte au-delà de savoir à quelle commune appartient chaque site assuré. On perçoit bien que l'analyse est incomplète et que pour analyser de manière plus fine il est nécessaire de prendre en compte des traitements géographiques.

II.2. Le géodécisionnel au croisement du spatial et du décisionnel

Les SID n'exploitent pas la composante géographique des données. Or une bonne proportion des données stockées dans les systèmes d'information des entreprises ont une composante géographique dont l'exploitation peut être une source d'intelligence supplémentaire dans la prise de décision.

La gestion et l'analyse des données géographiques sont le propre des systèmes d'information géographique (SIG). Les SIG reposent sur des processus OLTP et ne sont pas capables de représenter et d'analyser les données géographiques intégrées dans des processus OLAP. C'est pourquoi une nouvelle discipline a émergé depuis quelques années que l'on appellera dans ce manuscrit les systèmes d'information géodécisionnels (SIGD), couplage de la discipline technologique des SID avec la discipline de la géomatique (SIG).

L'objectif de ce sous chapitre est de présenter de manière pédagogique ce qu'est le géodécisionnel en enrichissant la modélisation multidimensionnelle de l'exemple sur l'évaluation des sites assurés exposés aux inondations.

Dans un premier temps on s'attarde sur les besoins pour les entreprises en termes d'analyse géographique puis des besoins étendus aux croisements des processus OLAP et de l'analyse géographique.

Dans un deuxième temps on présente les fondements de la modélisation spatiale multidimensionnelle comme une extension de la modélisation multidimensionnelle. Les concepts et notions clés sont illustrés au travers de l'enrichissement du cas d'étude sur les sites assurés exposés aux inondations.

Dans un troisième temps on présente rapidement les cas d'application de la technologie Spatial OLAP choisis comme technologie géodécisionnelle de référence par les nombreux cas d'application tant au niveau opérationnel qu'au niveau de la recherche technologique. On présentera notamment les cas d'étude réalisés sur les risques naturels et sur le secteur de l'assurance.

II.2.1. Les besoins couverts par le géodécisionnel

II.2.1.i. La maturité technologique de la géomatique

La géomatique est un domaine qui fait appel aux sciences, aux technologies de mesure de la terre ainsi qu'aux technologies de l'information pour faciliter l'acquisition, le traitement et la diffusion des données sur le territoire (aussi appelées "données spatiales ", "données géospatiales" ou " données géographiques"). Ce terme a pris tout son sens à l'Université Laval dans les années 80 pour en faire une discipline à part entière [ULaval, 2008]. La définition officielle de la géomatique selon l'Office de la Langue française :

"Discipline ayant pour objet la gestion des données à référence spatiale et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion. La géomatique fait appel principalement à des disciplines comme la topométrie, la cartographie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection et l'informatique".

D'après une étude menée par Franklin, près de 80% des données dans les entreprises disposent d'une référence spatiale [Franklin, 1992] soit par le biais d'une adresse, soit par le biais d'une référence à une entité administrative. Ces informations sont dites géocodables ou géoréférençables, c'est-à-dire qu'il est possible d'y associer des coordonnées géographiques ou bien d'associer un relevé de position GPS (latitude et longitude).

Des innovations technologiques en géomatique permettent de géolocaliser (ou géoréférencer) un grand nombre d'éléments propres aux entreprises et donnent ainsi la possibilité de les positionner sur une carte géographique. Les méthodes de géolocalisation se démocratisent de plus en plus à l'aide de nouvelles solutions technologiques accessibles au plus grand nombre (antennes GPS intégrées, logiciels de cartes routières grand public, services géolocalisés sur téléphone cellulaire, etc.). Les récentes avancées des technologies sans fil (ex.: WiFi), les technologies portables ou nomades (ex.: ordinateurs de poche (PDA) ou tablettes PC), ainsi que les nouvelles technologies microgéomatiques de positionnement (ex.: RFID ou RTLS) conditionnent directement l'évolution de la géomatique : combinaison à la fois des configurations technologiques novatrices et des solutions et stratégies d'affaires inédites.

Une chaire de recherche a été créée à l'Université de Sherbrooke au Canada dont l'objectif consiste précisément à mieux comprendre l'utilisation des technologies géomatiques dans le

monde des affaires afin d'en arriver à des solutions technologiques et organisationnelles qui permettent d'en maximiser les bénéfices [Sherbrooke, 2008]. Cela témoigne d'une certaine dynamique d'appropriation des technologies géomatiques par les entreprises pour exploiter le potentiel des contenus géographiques des données stockées dans les systèmes d'information des entreprises.

II.2.1.ii. L'information géographique

Une information géographique est une donnée spatiale généralement composée de trois parties : une partie géométrique, une partie descriptive et une partie métrique [Rigaux et al, 2002]. La partie géométrique fournit des informations sur la position et la forme des objets étudiés et est représentée sous une forme vectorielle (point, ligne, polygone) ou raster (image). A cette partie est associée un ensemble de coordonnées terrestres permettant de représenter sur un plan cartographique l'information concernée. Les données descriptives ou données attributaires fournissent des informations qualitatives ou quantitatives sur les caractéristiques des objets. Les données métriques résultent d'un calcul effectué sur la partie géométrique (superficie, distance, surface).

Les informations géographiques sont représentées dans une carte. Chaque thème géographique y est représenté par une « Couche » d'information géographique, ensemble d'objets élémentaires de même nature. Une « Couche » associe la représentation géométrique d'objets spatiaux et la table d'informations statistiques qui leur est associée. L'information y est stockée et représentée au niveau du pixel (représentation raster) ou au niveau des objets spatiaux élémentaires (représentation vectorielle).

Le rôle d'un Système d'Information Géographique (SIG) est de proposer un environnement informatique permettant de représenter et d'analyser un phénomène au travers de sa représentation spatiale. Il permet de gérer et d'exploiter les données géographiques. La représentation de la donnée géographique fait appel à des éléments graphiques ou sémiologiques permettant de paramétrer l'affichage de chaque objet géométrique (trame de fonds, couleur, bordure, etc.) de la façon la plus compréhensible pour l'utilisateur (aussi bien analyste que décideur ou opérationnel). Par ailleurs la donnée géographique doit nécessairement être accompagnée de métadonnées, c'est-à-dire les données sur les données, permettant de contextualiser l'information qui est affichée (date d'acquisition, date de publication, nom du propriétaire).

Les données géographiques sont généralement stockées sous forme d'un ensemble de fichiers regroupant les données géométriques, graphiques, descriptives dont les formats sont généralement propre au logiciel permettant de les exploiter (Shape file pour ArcView d'ESRI, Mid-mif pour Mapinfo). Les données géographiques peuvent aussi être stockées dans des bases de données géographiques. Celles-ci sont gérées dans un environnement transactionnel (processus OLTP). Que ce soit sous forme de fichier ou bien de bases de données, le mode d'interrogation répond aux mêmes exigences que les bases de données relationnelles classiques.

II.2.1.iii. L'appropriation de la géomatique dans le secteur de l'assurance

L'exploitation de la composante spatiale des entreprises a fait émerger depuis une vingtaine d'années des domaines d'applications dont l'objectif est la prise en compte de la réalité spatiale des activités économiques des entreprises. Une activité n'a pas le même impact selon le lieu géographique de sa matérialisation : le lieu d'implantation d'une boutique, d'une agence, le secteur géographique de prospection commerciale, la situation et la capillarité d'un réseau de distribution, ont un impact certain sur l'activité économique. L'analyse de la distribution spatiale prend en compte les lieux d'échange ou de consommation de biens, de services ou d'information.

Le géomarketing fait partie de ces champs d'applications dans les entreprises. Le géomarketing exploite l'analyse géographique pour l'ensemble des problématiques de marketing aussi bien au niveau stratégique qu'à un niveau plus opérationnel [Latour et al., 2001]. Dans la plupart des sociétés d'assurance une cellule géomarketing existe afin de répondre à des problématiques d'implémentation des points de vente de leur réseau de distribution de produits d'assurance. Les sociétés d'assurance disposent d'un réseau d'agences et d'antennes commerciales qui constitue un facteur clé de développement. Le géomarketing est utilisé pour aider à délimiter les zones de chalandises et de garantir la rentabilité par rapport aux coûts d'implantations. Dans le cadre des fusions entre sociétés d'assurance, le géomarketing sert à décider la fusion ou la suppression d'agences mais aussi à cibler les produits d'assurance à vendre à des segments de clients. Cela représente un des rares domaines opérationnels dans l'assurance exploitant l'information géographique.

Ces services exploitent des combinaisons de données socio-économiques provenant de l'Insee pour l'essentiel avec des données relatives aux agences et à leur géolocalisation. Les principaux éditeurs de solutions géomarketing sont Asterop, Esri, Mapinfo, Experian, Geoconcept. Ces logiciels disposent de fonctions classiques SIG (traitement et diffusion) avec en complément des modules utilisés notamment par le géomarketing permettant de faire de l'analyse spatiale à partir de modèles mathématiques comme la méthode de krigeage pour l'interpolation spatiale, la modélisation gravitaire pour identifier des zones d'attraction, la méthode d'analyse de grille qui permet d'intégrer du calcul matriciel à l'aide d'opérateurs arithmétiques ou encore des algorithmes de calculs d'itinéraires.

En outre des nouveaux services utilisant le GPS sont en train d'émerger dans le secteur de l'assurance, en particulier pour ce qui concerne l'assistance et la prévention sur la branche assurance automobile. La MAIF et la MACIF déploient un service de « géo-sécurisation » dont l'objectif est de pouvoir alerter les services d'assistance en cas de panne ou d'accident à partir d'un boîtier électronique embarqué dans le véhicule (balise Argos) [Echos, 2008]. Des accords sont en cours de négociation avec des sociétés d'assurance françaises pour transposer en France le « pay as you drive » pour l'assurance automobile actuellement utilisée dans les pays anglosaxons et en Europe, dont l'objectif est de payer uniquement à hauteur du nombre de kilomètres parcourus dans l'année [Echos, 2007]. Des questions juridiques sont soulevées concernant le suivi permanent des conducteurs.

Ces exemples révèlent que des applications géomatiques sont en cours de maturation dans les sociétés d'assurance à des fins de développement de nouvelles affaires.

II.2.1.iv. Les systèmes d'information géodécisionnel (SIGD) : au croisement de la géomatique et du décisionnel

Comme pour les SID, les Systèmes d'Information GéoDécisionnels (SIGD) visent à proposer aux décideurs des éléments tangibles permettant de supporter la prise de décision.

Concernant les SIG, ceux-ci permettent d'analyser de manière fine les phénomènes ayant une composante géographique mais ils restent des outils opérationnels destinés à traiter l'information en mode transactionnel en s'appuyant sur des systèmes de requêtages complexes (processus OLTP). Les SIG souffrent de temps de réponse lents sans fonctionnalités de synthèse et de regroupement d'information.

Concernant les SID la manipulation et l'interrogation des entrepôts de données ne permettent pas d'exploiter le potentiel des données géographiques stockées dans les entrepôts de données et structures multidimensionnelles. [Caron, 1998] au cours de son travail de master a démontré que les SID et les processus OLAP sans visualisation et navigation cartographiques présentent d'importantes limitations pour l'analyse de phénomènes géographiques et spatio-temporels.

Les SIGD ont pour objectif de coupler les avantages fonctionnels et technologiques des SIG avec ceux des processus OLAP spécifiques au décisionnel. Ce mariage a pour objectif d'offrir aux décideurs la capacité de tirer pleinement profit de la composante spatiale des données stockées dans le système d'information soit dans des bases de données relationnelles, soit dans des entrepôts de données, et de pouvoir explorer des indicateurs liés à une problématique dans l'espace et dans le temps. On distingue deux approches : d'une part simplement représenter sous forme de cartes le contenu des entrepôts de données existants, et d'autre part construire de nouveaux entrepôts (Datawarehouse) et magasins de données (Datamart) intégrant des résultats de traitements géographiques et non géographiques afin de répondre à des problématiques qui n'avaient pas pu être abordées par le passé.

Le géodécisionnel constitue une nouvelle famille d'outils s'appuyant sur un enrichissement de la modélisation multidimensionnelle de manière à prendre en compte non seulement le caractère spatial ou géographique mais aussi le caractère multidimensionnelle des données. Ainsi le SIGD est vu comme l'ensemble des technologies capables de combiner les composantes multidimensionnelles et les composantes géographiques. Le terme Spatial OLAP désigne aussi les outils d'analyse de type SIGD. Il s'agit d'un concept technologique mis au point par l'équipe du Pr. Yvan Bédard au Centre de Recherche en Géomatique (CRG) de l'Université Laval [Bédard et al., 1997], [Bédard et al., 2001]. Le Spatial OLAP est dédié à l'analyse et à l'exploration d'indicateurs résultant de modèle spatiaux multidimensionnel (illustration d'un exemple d'interface Spatial OLAP figure 19).

Il est possible aussi de construire des Tableaux De Bord Spatiaux (TDBS) [Proult et al., 2007] répondant au même type de besoin que le TDB explicité dans le sous-chapitre précédent avec en plus l'intégration de la visualisation cartographique ; le tableau de bord vise à présenter les indicateurs d'une manière synthétique afin d'aider au pilotage plus qu'à l'analyse. Comme pour le décisionnel, ce sont les outils d'analyse de type SOLAP et les tableaux de bords spatiaux qui permettent de restituer de façon interactive aux analystes et aux décideurs le contenu des structures multidimensionnelle intégrant la composante géographique (modèles spatiaux multidimensionnels) (illustration d'un TDBS figure 20).

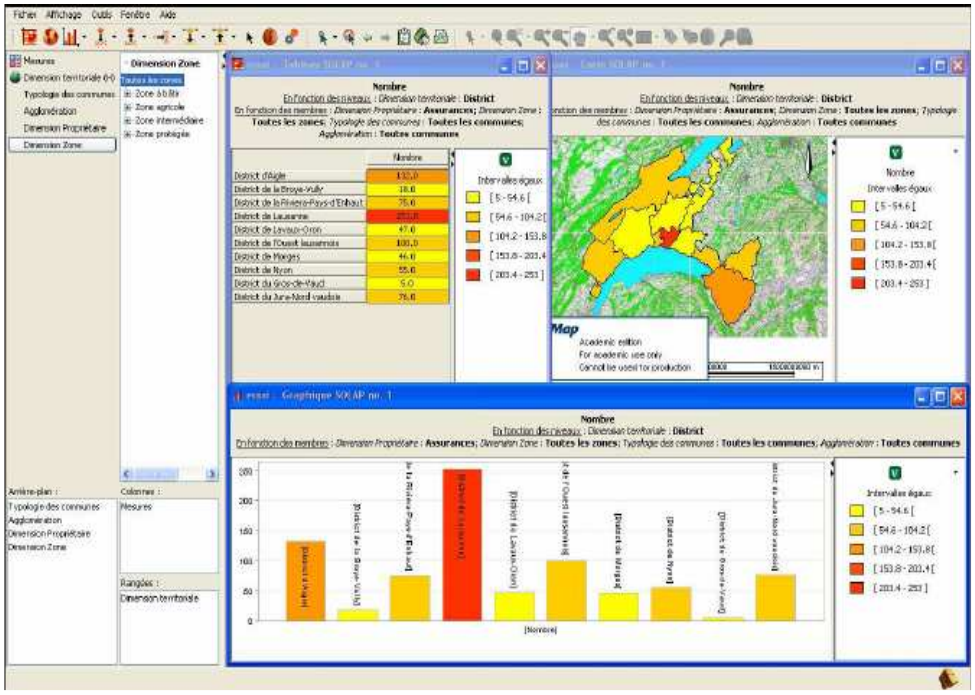


Figure 18 – Illustration d'un exemple d'interface d'analyse Spatial OLAP (combinaison de graphiques, tableaux et cartes thématiques) [Proult et al., 2007].

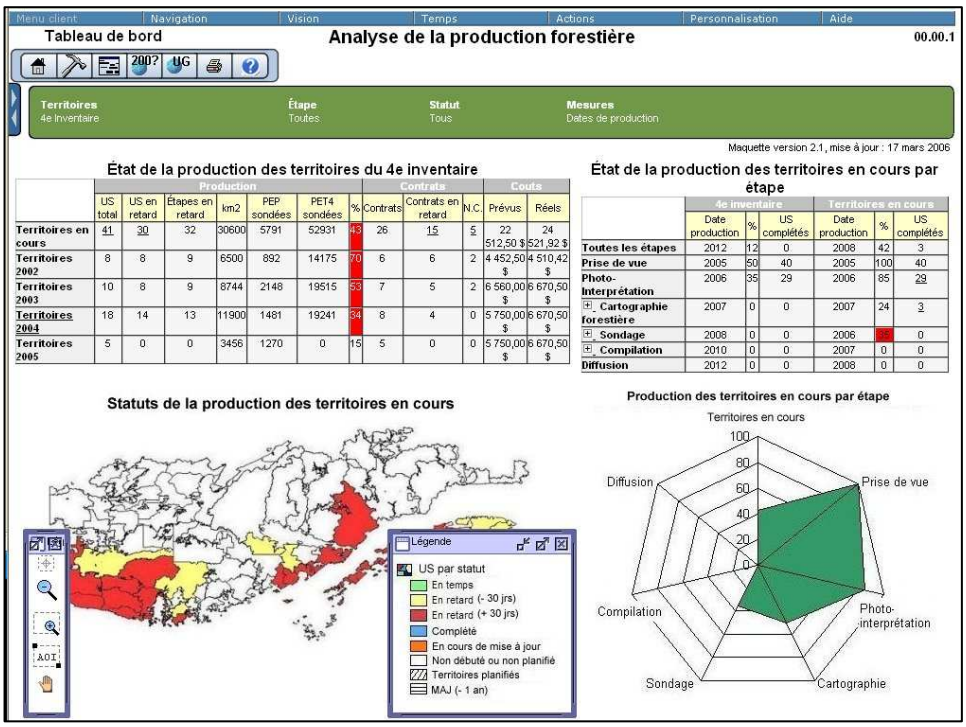


Figure 19 – Illustration d'un Tableau de Bord Spatial appliqué à la production forestière au Canada [Proult et al., 2007]

Comme présentée dans [Bédard, 2006], on distingue différentes familles d'outils ayant des caractéristiques se rapprochant du Spatial OLAP :

- Les solutions intégrées : capables de gérer des « Cubes »[4] de données spatiales et comportent des fonctionnalités à la fois multidimensionnelles et géographiques pour explorer ce type de « Cube ». Les deux solutions les plus connues sont :
    - SAS Web OLAP [Dijoux, 2005] : il s'agit de l'outil ArcGIS d'ESRI couplé au serveur SAS OLAP.
    - JMAP-SOLAP [Kheops, 2008] : il s'agit de l'outil Web Jmap server pour la publication d'applications cartographiques couplées avec des accès R-OLAP ; c'est-à-dire des « Cubes » stockés dans des environnements relationnels

- Les solutions à dominante SIG : présentent des fonctionnalités essentiellement SIG avec très peu d'opérateurs OLAP. Ces solutions sont souvent des SIG dotés d'un module pour intégrer une extraction d'un « Cube » OLAP :
    - OLAP Extension for ArcGIS : solution [ESRI OLAP, 2008] pour laquelle les opérateurs OLAP ne servent que pour les données OLAP descriptives mais pas spatial
    - OLAP Module for MapPoint : solution s'appuyant sur les cubes Microsoft avec un assistant permettant de créer des cartes à condition que le cube

[4] Le « Cube » est entendu comme la structure de données spatiale multidimensionnelle stockant les indicateurs géodécisionnels ou simplement des entrepôts de données spatiales (selon le type d'outil)

contient des données géographiques. Il n'y a pas d'opérateurs OLAP sur la carte
    - Location Intelligence Component de [Pitney Bowes Mapinfo, 2008] : une configuration XML permet de faire le lien entre les objets géométriques et les données du cube

- Les solutions à dominante OLAP : présentent des opérateurs OLAP mais très peu voir pas d'opérateurs cartographiques. Il s'agit bien souvent d'un simple visualisateur associé au « Cube » OLAP :
    - TargIT BI suite
    - Tableau Software
    - JRubik

Au cours des travaux de thèse le choix s'est porté sur l'utilisation de la solution intégrée JMAP-SOLAP pour réaliser les prototypes de part la complétude de l'outil au regard de ce qu'on peut attendre en termes de maturité d'un outil géodécisionnel. Il s'agit d'une des solutions les plus abouties grâce à l'expertise de pointe du CRG. Cependant tous les aspects de la modélisation spatiale multidimensionnelle ne sont pas encore intégrés.

Comme la modélisation multidimensionnelle pour les SID, la modélisation spatiale multidimensionnelle est le socle sur lequel repose les SIGD. Le terme modélisation spatiale multidimensionnelle correspond au multidimensionnel enrichit d'une extension spatiale.

II.2.2. La modélisation spatiale multidimensionnelle

La modélisation spatiale multidimensionnelle repose sur l'intégration de la donnée géographique dans la modélisation multidimensionnelle. Les deux concepts sont la « Dimension Spatiale » et la « Mesure Spatiale ».

II.2.2.i. Le concept de « Dimension Spatiale »

Dans les solutions OLAP traditionnelles la dimension spatiale est traitée comme une « Dimension » descriptive avec une représentation hiérarchique telle que vue dans le sous chapitre précédent sans aucun lien vers une représentation cartographique. Dans ce cas les « Membres » de la « Dimension » ont une référence uniquement nominale ; la représentation cartographique de ces objets n'est pas prise en compte.

Aussi la notion de « Dimension spatiale » porte sur l'association des « Membres » avec la géométrie des objets [Bédard, 2001].

Comme définis dans [Micquel et al., 2002], on distingue trois types de dimensions spatiales :

- La « Dimension Spatiale » non géométrique, ou traditionnelle, pour laquelle les données considérées sont non géométriques. L'utilisation des technologies d'entrepôts

de données permet d'exploiter ce type de dimension mais cela ne permet pas de voir les relations dans l'espace et dans le temps des phénomènes étudiés.

- La « Dimension Spatiale » géométrique , est une « Dimension » pour laquelle tous les niveaux des « Hiérarchies » ont une définition géométrique, c'est-à-dire qu'ils sont représentés cartographiquement. Ainsi, tous les « Membres » de chaque niveau sont décrits par des objets géométriques (par exemple des polygones pour les pays et les régions, des points pour les communes).

- La Dimension Spatiale mixte, représentée par une « Dimension » où seulement certains niveaux sont cartographiés. Par exemple, les niveaux les plus fins peuvent être associés à une géométrie alors que les niveaux supérieurs sont uniquement nominaux. L'inverse est également possible ainsi que toute autre combinaison avec uniquement certains niveaux intermédiaires qui soient cartographiés.

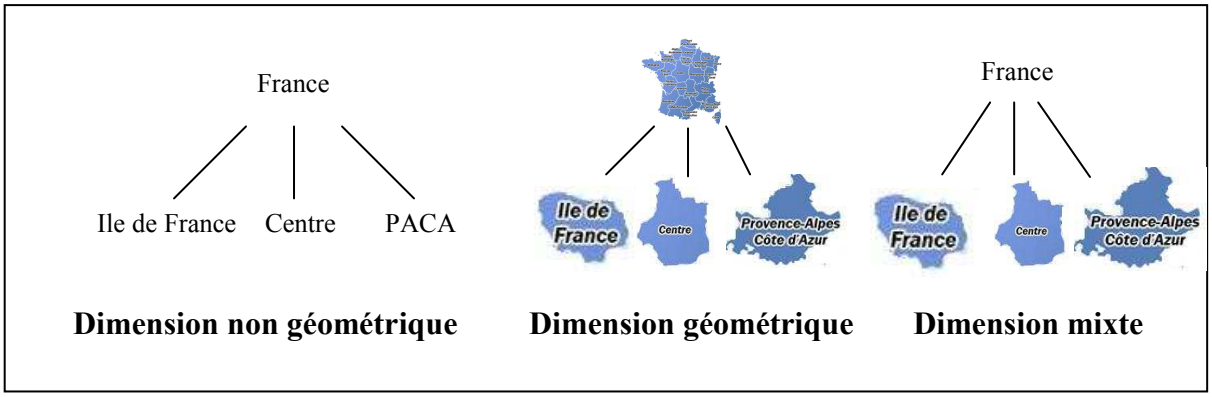


Figure 20 – Illustration graphique des « Dimensions Spatiales » (adaptée de [Rivest et al., 2005])

Dans le cadre des travaux de la thèse seuls les deux derniers types de « Dimensions spatiales » sont pertinents.

Concernant le cas d'étude sur l'exposition des Sites Assurés, il est judicieux de suivre les indicateurs selon l'angle du découpage administratif mais aussi de pouvoir suivre selon un découpage géographique propre à une société d'assurance donnée. Ainsi pour la même « Dimension » on aurait deux « Hiérarchies » possibles. On parle alors de « Hiérarchies alternatives » ; l'utilisateur choisira soit l'une soit l'autre pour effectuer sa propre analyse. Ainsi on a bien deux « Hiérarchies » pour la même « Dimension Spatiale » et dont chacune des deux fait appel à des objets géographiques différents.

- « Dimension Spatiale » « Géographie » :
  - « Hiérarchie administrative » permettant d'analyser les « Faits » suivant une vision purement administrative. Les objets géométriques associés aux entités administratives sont fournis par la BD GEOFLA de l'IGN. Cette « Dimension spatiale » se décomposerait en quatre niveaux hiérarchiques :

- le niveau « Pays » : contenant le polygone France entière
- le niveau « Région » : contenant les polygones de chaque région administrative
- le niveau « Département » : contenant les polygones de chaque département
- le niveau « Commune » : contenant les polygones de chaque commune

o « Hiérarchie assurance » dont la structuration hiérarchique dépend de l'organisation interne de chaque société d'assurance. On peut imaginer une organisation des sites d'une part par périmètre d'agence, et d'autre part par région. Cette « Dimension » se décompose alors en trois niveaux hiérarchiques :
  - le niveau « Caisse régionale » : contenant les polygones des régions selon un découpage propre à chaque une société d'assurance (exemple de l'organisation des caisses régionales de GROUPAMA).
  - le niveau « Secteur Agence » : contenant les polygones des Secteurs de responsabilité de groupes d'agents d'assurance.
  - le niveau « Commune » : contenant les polygones des communes exactement comme pour la « Hiérarchie administrative »

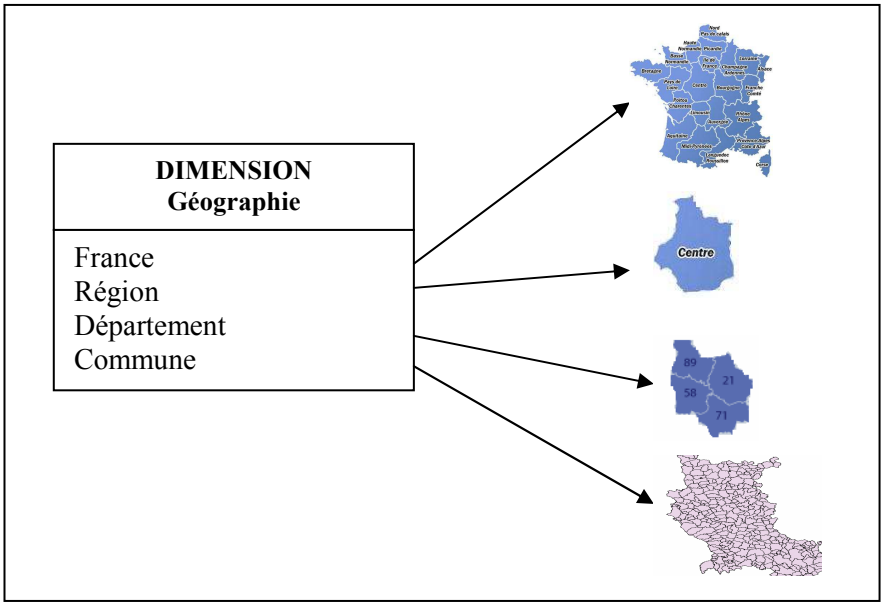


Figure 21 – Illustration de la « Dimension Spatiale » géométrique « Géographie » selon la « Hiérarchie Administrative »

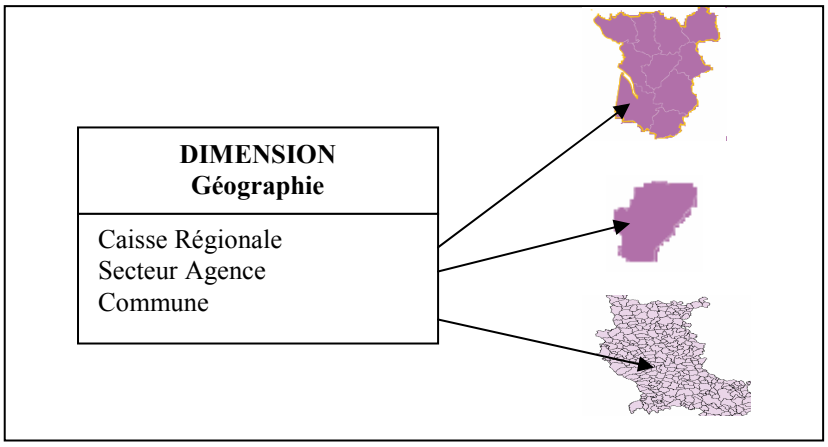


Figure 22– Illustration de la « Dimension Spatiale » géométrique « Géographie » selon la « Hiérarchie Assurance »

Comme pour les « Dimensions » classiques d'un modèle multidimensionnel, les « Dimensions Spatiales » doivent être agrégatives d'un niveau « Hiérarchique » à un autre. La dimension spatiale détermine le pas d'analyse géographique du modèle.

II.2.2.ii. Le concept de « Dimension Opérateur »

Certaines « Dimension » non géométriques peuvent être utilisées pour faire référence à des résultats d'opérations topologiques correspondant à des valeurs stockées dans la structure spatiale multidimensionnelle. Ces « Dimensions » ont été nommées « Opérateurs Topologiques Spatiaux » (d'après la compréhension des travaux de [Marchand et al, 2001] sur Spatio-Temporal Topological Operators Dimension (ST²OD) et sur le projet SOVAT pour le suivi d'indicateurs santé [Scotch et al., 2006]). Pour simplifier, ces types de dimensions seront appelés « Dimensions Opérateurs ». Chaque « Membre » de cette dimension fait référence à un résultat d'opération topologique : par exemple « Est inclus totalement dans », « Est inclus partiellement dans », « Est Intersecté par », etc. Une telle dimension a été utilisée par exemple pour l'analyse des déplacements de radios amateurs [Marchand et al, 2001].

Concernant le cas d'étude sur les Sites Exposés, il peut être pertinent d'utiliser une « Dimension Opérateur » pour permettre à l'utilisateur de consulter les résultats des expositions au regard de l'intersection avec les différents types de zones inondables. Ainsi on utilise la « Dimension Opérateur inondation ». Chaque membre correspond à l'intersection avec une classe de Fréquence de crue (Exceptionnelle, Fréquente, Très Fréquente). Les intitulés de ces Membres seraient : « Intersection avec une zone de crue Exceptionnelle », « Intersection avec une zone de crue Fréquente », « Intersection avec une zone de crue Très fréquente ».

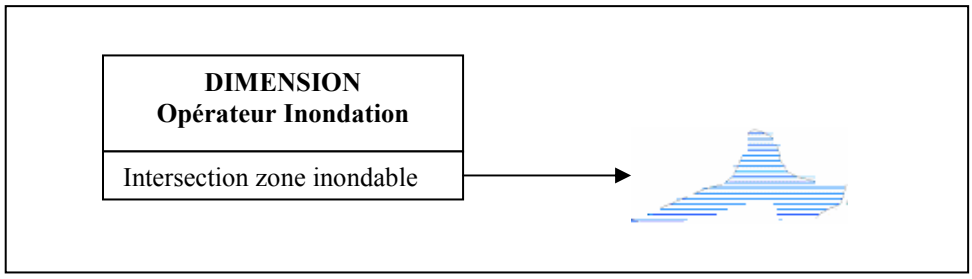


Figure 23 – Illustration de la « Dimension Opérateur » : « Opérateur Inondation »

Après avoir décrit les spécificités des « Dimensions Spatiales» du modèle spatial multidimensionnel il convient maintenant de décrire les spécificités concernant les « Mesures Spatiales»

II.2.2.iii. Le concept de « Mesure Spatiale »

Dans un modèle spatial multidimensionnel les « Mesures » peuvent potentiellement aussi avoir une composante spatiale. Par conséquent, en plus des « Mesures » conventionnelles supportées dans les systèmes OLAP, il existe des « Mesures Spatiales » [Rivest *et al*, 2001]. [Bédard et al. 2005] définissent clairement les types de mesures spatiales qu'ils manipulent dans leurs travaux. On distingue trois types de « Mesures Spatiales » :

- Le pointeur spatial [Han *et al* 1998]. C'est la méthode utilisée par les technologies SIG pour gérer la composante géométrique des objets spatiaux. Il s'agit d'un ensemble de pointeurs, stockés dans la structure multidimensionnelle, chaque pointeur pointant vers la géométrie d'un objet spatial stockée dans une autre structure (base de données géospatiale ou fichiers).

- Les métriques. Elle permet de dériver des valeurs à l'aide d'un opérateur métrique ou topologique d'analyse spatiale dont le résultat sera ensuite stocké dans le cube de données (ex. surface d'un objet, distance minimale avec l'objet le plus proche, cumul de longueurs sur un réseau).

- Les objets spatiaux obtenus par la combinaison de dimensions spatiales géométriques. Il s'agit d'un ensemble de coordonnées obtenu à partir des opérateurs d'analyses spatiaux d'un SIG, par exemple les coordonnées d'un point, ligne ou polygone résultant de l'intersection spatiale des membres de plusieurs dimensions.

Si l'on transpose ces types de « Mesures » au cas d'étude sur les Sites exposés alors on pourrait imaginer des exemples pour chaque type cité ci-dessus :

- **Pointeurs sites exposés** : cela serait l'ensemble des pointeurs vers les géométries des sites assurés comptabilisés pour chaque combinaison des « Dimensions spatiales » et des « Dimensions » descriptives. Chaque site serait représenté soit par un point (pour chaque adresse de risque géocodée) soit par un polygone (contours géométrique du bâtiment). Un pointeur est alors une référence à un objet géométrique existant.

- **Surface exposée et Distance à la zone inondable** : il s'agit des métriques résultant d'opérations topologiques. Cela serait la somme des surfaces des bâtiments des sites assurés ou encore la distance moyenne des sites par type de zone inondable. Les mesures stockées sont des valeurs numériques obtenues suite à la réalisation d'opérations topologiques.
- **Géométrie des surfaces inondables** : il s'agit de nouveaux objets géométriques obtenus à partir d'opérations topologiques comme les inclusions, les intersections, etc. Cela pourrait être les résultats d'intersection entre les polygones des zones inondables et les résultats des bâtiments. Dans ce cas la valeur de la mesure est l'ensemble des coordonnées géographiques associées à ce nouvel objet.

II.2.2.iv. Modélisation logique

Le modèle logique du cas d'étude est structuré en étoile avec la dimension Géographie en flocons pour faire apparaître les hiérarchies alternatives (« Hiérarchie Assurance » et « Hiérarchie Administrative ».

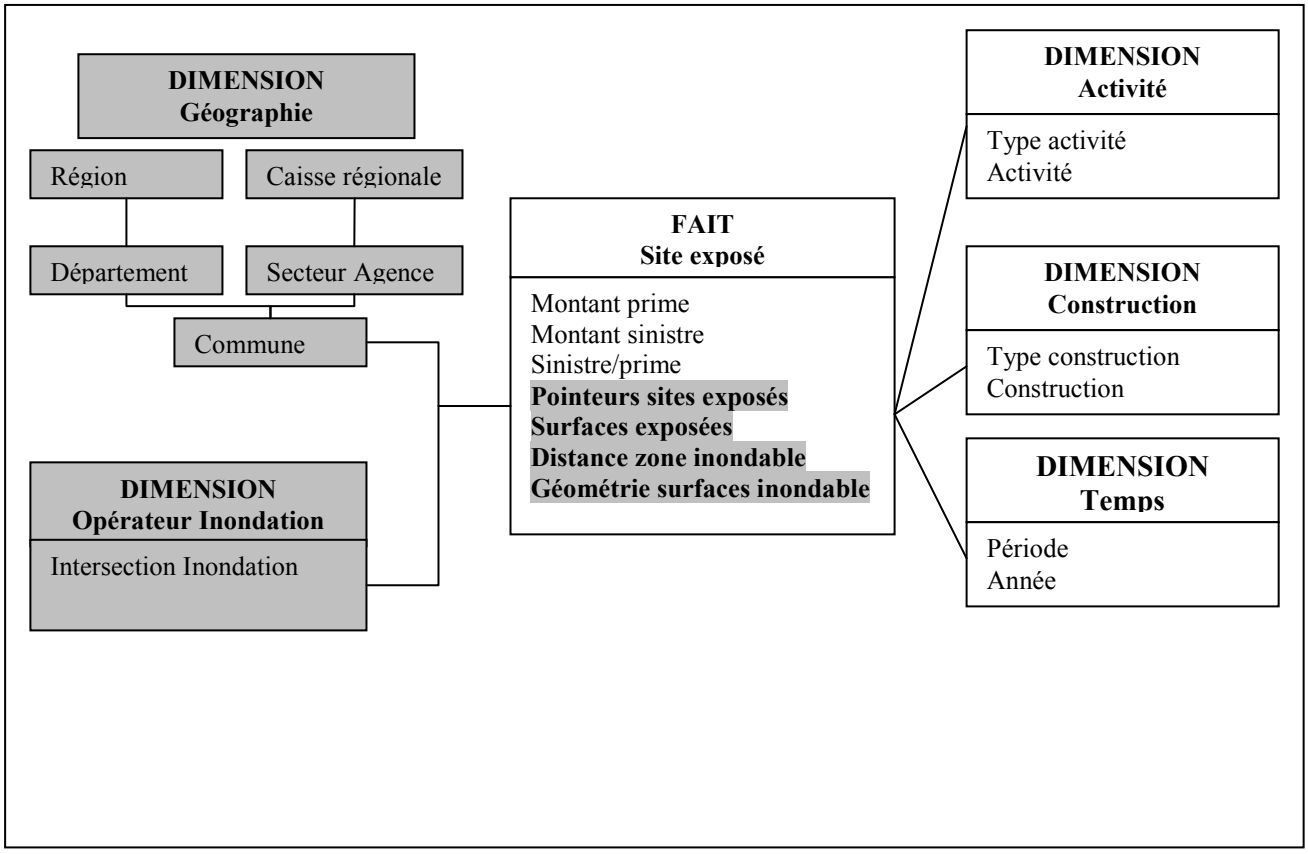


Figure 24 – Schéma en étoile pour la modélisation spatiale multidimensionnelle du cas d'étude sur les sites exposés (en zone grisée figurent les extensions spatiales apportées au modèle multidimensionnelle)

Dans la figure 25 on peut observer en grisé les éléments spécifiquement ajoutés pour enrichir le modèle multidimensionnel avec la composante spatiale.

Au-delà de la modélisation et les traitements sur les données géographiques et non géographiques, un autre élément fondamental du géodécisionnel est la visualisation. L'enrichissement de l'interface classique OLAP avec des fonctions cartographiques fournit aux décideurs et aux analystes la possibilité d'interagir dynamiquement entre les données descriptives et des données géographiques relatives à une problématique ayant une ou plusieurs composantes spatiales.

II.2.2.v. Les concepts clés de la visualisation d'un SIGD

Un SIGD s'appuie sur des outils de visualisation permettant d'interagir avec une structure de données spatiale multidimensionnelle. Afin de garantir une certaine souplesse dans l'analyse et la visualisation des faits, des concepts clés ont été mis en avant par la communauté des chercheurs travaillant autour des SIGD.

Tout d'abord il apparaît que la simple visualisation sur une carte de données stockées dans un cube OLAP offre une visibilité sur le phénomène étudié que les tableaux et les graphiques ne permettent pas. La carte offre une représentation intuitive qui vient naturellement enrichir les rôles des tableaux et graphiques qui parfois peuvent être rendus illisibles de par la densité d'information. La carte permet d'abstraire les données spatiales et permet ainsi aux décideurs et aux analystes de se concentrer uniquement sur les données non géographiques.

Afin de pouvoir répondre à ces besoins, l'outil de visualisation doit répondre à un certain nombre de critères énoncés clairement dans [Rivest et al., 2001]:

- Visualisation des données : Il s'agit d'un principe de base des SIGD. La visualisation des données doit être claire, flexible, et doit permettre d'utiliser des outils autres que la représentation cartographique. Des tableaux, des outils statistiques, des graphiques sont autant de compléments d'informations souvent indispensables à la bonne compréhension des données. Il est donc important de pouvoir afficher plusieurs représentations simultanément et ce sans avoir à multiplier les clics de souris et les enchaînements de fenêtres ; Le temps de réponse à une requête reste sous la barre des 10 secondes nécessaires pour conserver le flux de penser d'une personne [Newell, 1990]

- Personnalisation de l'interface : L'outil doit permettre une personnalisation poussée. L'utilisateur doit pouvoir choisir les couleurs des éléments qu'il souhaite voir s'afficher ; l'outil doit permettre l'affichage de cartes thématiques à partir des Mesures du Cube à représenter et c'est la sémiologie de ces cartes combinées avec des tableaux et graphiques qui permet d'offrir une vision claire (comme par exemple en changeant la couleur et/ou la trame de fond selon intervalle de valeurs d'une ou plusieurs Mesures).

- Manipulation des données : L'outil doit permettre d'exploiter pleinement les possibilités de l'OLAP dans la représentation cartographique des Cubes. Il serait

intéressant de pouvoir visualiser facilement les opérations « Remonter », « Pivoter » et « Forer » dans les « Dimensions Spatiales » autant que dans les autres « Dimensions » (temporelles, descriptives, etc.).

Les critères de visualisation SOLAP permettent dans le cadre de l'exemple des sites exposés d'offrir plus de visibilité sur l'analyse de l'exposition des assurés d'une société d'assurance. Ainsi une visualisation cartographique permettrait de constater la distribution spatiale des risques assurés d'une société. Il s'agit d'étudier la densité des biens assurés dans les zones inondables. La comptabilisation des sites et des mesures peut se faire soit sous l'angle administratif, soit sous l'angle propre au découpage géographique de l'entreprise d'assurance. Cela permet notamment d'identifier visuellement les zones géographiques avec une forte concentration de sites assurés. L'utilisation de graphiques combinés à des cartes thématiques sur les Mesures permet d'étudier les corrélations spatiales et temporelles. Des exemples de navigation, de plans d'actions à partir de l'utilisation de l'interface SOLAP appliquée à la problématique seront présentés dans le Chapitre IV.

II.2.3. Les exemples d'applications géodécisionnelles de type Spatial OLAP

Les cas d'application sont encore assez peu nombreux dans le monde industriel. Cela s'explique par le fait qu'il y a assez peu d'offres commerciales de la famille des outils intégrés présentes sur le marché ; les solutions commerciales évoquées précédemment, JMAP-SOLAP (sur la base d'un partenariat entre Kheops et le CRG) et SAS Web OLAP (sur la base d'un partenariat technologiques entre SAS et ESRI), ont été déployées sur le marché en 2005. Les recherches ont montré que les entreprises ne sont pas encore réellement familiarisées avec ces outils. Néanmoins de nombreux prototypes sont réalisés à l'image des exemples de réalisation géodécisionnelles avec la technologie ESRI/SAS dans [Dijoux, 2005] notamment par la NASA ou encore par le Bureau Fédéral Américain du Recensement.

Au Québec de nombreuses organisations ont implémenté l'outil SOLAP soit en tant qu'outil opérationnel soit en tant que prototype pré-industriel ayant fait l'objet de nombreuses publications scientifiques dans le domaine de la Géomatique et de l'Ingénierie Informatique. Les principaux clients de l'offre SOLAP sont les Ministères de tutelle du Québec dont voici quelques exemples :

- Le Ministère des Transport a mis au point avec le CRG une application permettant de déterminer le meilleur parcours possible des véhicules transportant de matières dangereuses à partir d'analyses détaillées et agrégées des segments de routes sur un trajet donné afin d'identifier clairement si les véhicules spécifiques peuvent ou non circuler : hauteur libre sous pont, largeur des voies, nombre de voies. L'interface pourrait servir d'aide dans la décision de délivrer des permis de circulation pour ces différentes catégories de véhicule [Larrivée et al. 2004] ;

- Le CRG a mis au point une application SOLAP pour suivre l'évolution des parcelles de foresterie de la forêt de Montmorency [Miquel et al., 2001] ;

- Le Ministère de la Santé a investi dans SOLAP pour améliorer la surveillance de la santé environnementale. Des prototypes ont été réalisés sur le cas du virus du Nil Occidental ou encore sur l'analyse des maladies respiratoires [Rivest, 2005] ;

- La Défense Nationale du Canada étudie le potentiel de SOLAP pour des besoins d'analyse stratégiques [Bédard et al., 1997] ;

- D'autres prototypes sont développés dans d'autres domaines comme pour le suivi des performances sportives avec l'intégration de données en temps réel [Lambert, 2006].

Après avoir présenté un bref panorama des cas d'application géodécisionnelles il convient de se pencher sur l'état de l'art des applications géodécisionnelles développées sur le thème des risques naturels et du secteur de l'assurance.

II.2.3.i. Le géodécisionnel appliqué à la gestion des risques naturels

L'analyse des risques naturels reste un domaine encore relativement peu exploré par les experts des technologies de type Spatial OLAP. L'exemple se rapprochant le plus du domaine des risques naturels a été réalisé par le CRG et il concerne le risque d'érosion des berges en Gaspésie. L'érosion des berges est liée à la survenance de phénomènes naturels (tempêtes, hausse du niveau de la mer). Le réseau routier au Québec est impacté par ce phénomène et plus particulièrement la route qui longe la côte gaspésienne. Un prototype SOLAP de gestion des risques a été réalisé sur un certain nombre de sites pilotes. Des critères d'identification du risque ont été déterminés afin de définir les zones potentiellement dangereuses. Les critères retenus sont les suivants : distance entre la bordure et la berge, type de berge, hauteur de la berge, moyenne de pentes des parcelles, présence de cours d'eau, présence d'ouvrage de protection et utilisation et occupation du sol. Afin de construire la base de données multidimensionnelle spatiale il a fallu dans un premier temps définir le découpage territorial qui fixera les dimensions spatiales. Les « Dimensions Spatiales » choisies sont un découpage en parcelles des sites d'étude (dimension parcelle à 3 niveaux formée de polygones) et le découpage de la route en segment (dimension route à 3 niveaux formée de lignes). Pour chacun de ces critères un niveau de risque a été attribué selon une échelle de 1 à 5. Chaque critère correspond à une « Dimension ». Le niveau de risque global correspond à une formule calculée de pondération de chacun des critères. Ainsi les mesures analysées dans la base de données multidimensionnelles sont : le niveau de risque global (avec plusieurs formules possibles), le nombre de parcelles affectées, la longueur de route affectée. L'alimentation de la base de données multidimensionnelle repose sur un inventaire détaillé des sites soumis à l'érosion. Cet inventaire est stocké dans une base de données transactionnelle.

Grâce à l'interface SOLAP, l'utilisateur peut facilement effectuer une multitude de requêtes et visualiser ses résultats en moins de 10 secondes sous forme de cartes, tableaux ou graphiques synchronisés : l'utilisateur peut rapidement mesurer le risque d'érosion pour les sites d'une municipalité donnée. L'interface SOLAP présente le résultat de la requête en utilisant la synchronisation des affichages et de la sémiologie graphique permettant de voir l'évolution

d'un ou plusieurs critères de risques et ce à des niveaux de granularité différents [Mc Hugh 2006], [Bilodau et al., 2006].

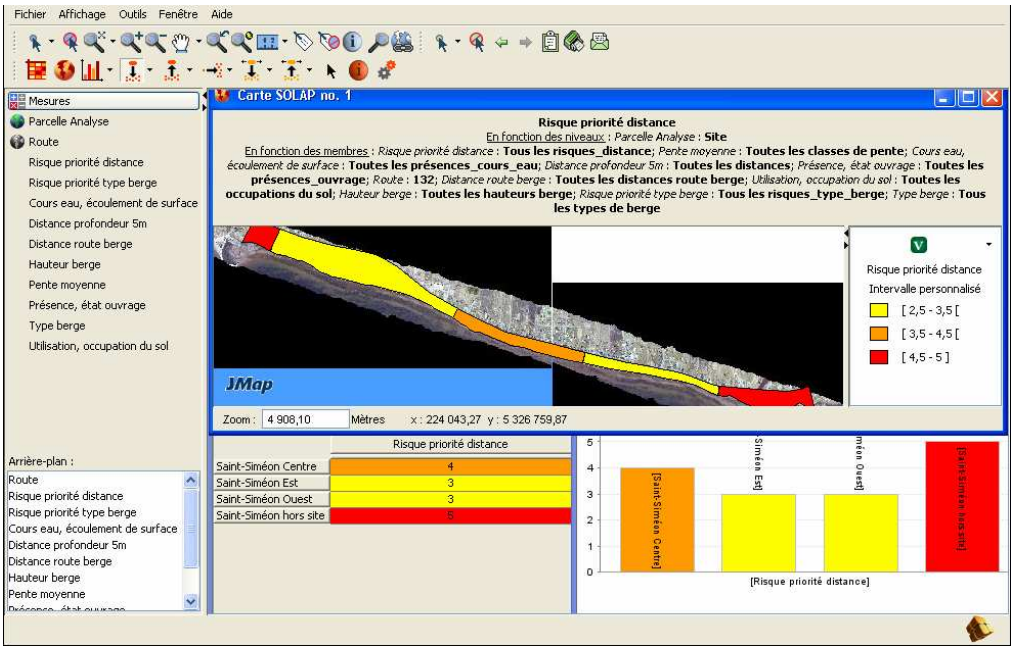


Figure 25 - Analyse du risque d'érosion pour les sites de la municipalité de Saint-Siméon (extrait de [Mc Hugh 2006])

Le CRC a réalisé trois prototypes SOLAP sur l'avancement des procédures administratives des communes sur le thème des risques naturels. Le premier prototype a été développé par [Chaze et al., 2005] dans le cadre de l'initialisation d'un partenariat scientifique entre le CRG et le CRC. Ce prototype a permis d'évaluer la faisabilité technique d'une application SOLAP avec des données issues de la base GASPAR (Gestion Assistée des Procédures Administrative liées aux Risques Naturels) mise à disposition par le MEEDDAD. Par la suite deux autres prototypes ont été réalisés par l'auteur avec des indicateurs plus exhaustifs sur la situation des communes faces aux risques naturels. Ces prototypes ont fait l'objet de deux publications [Iris et al., 2006], [Iris et al., 2006]. L'intérêt était de construire un cube SOLAP permettant de naviguer sur plusieurs niveaux géographiques administratifs (région, département, communes) afin d'identifier les zones du territoire français ayant connu des catastrophes naturelles mais n'ayant pas de mesure préventive approuvée. Ces premiers prototypes ont mobilisé des indicateurs à la commune et n'intégraient pas de « Mesure spatiale » dans les calculs.

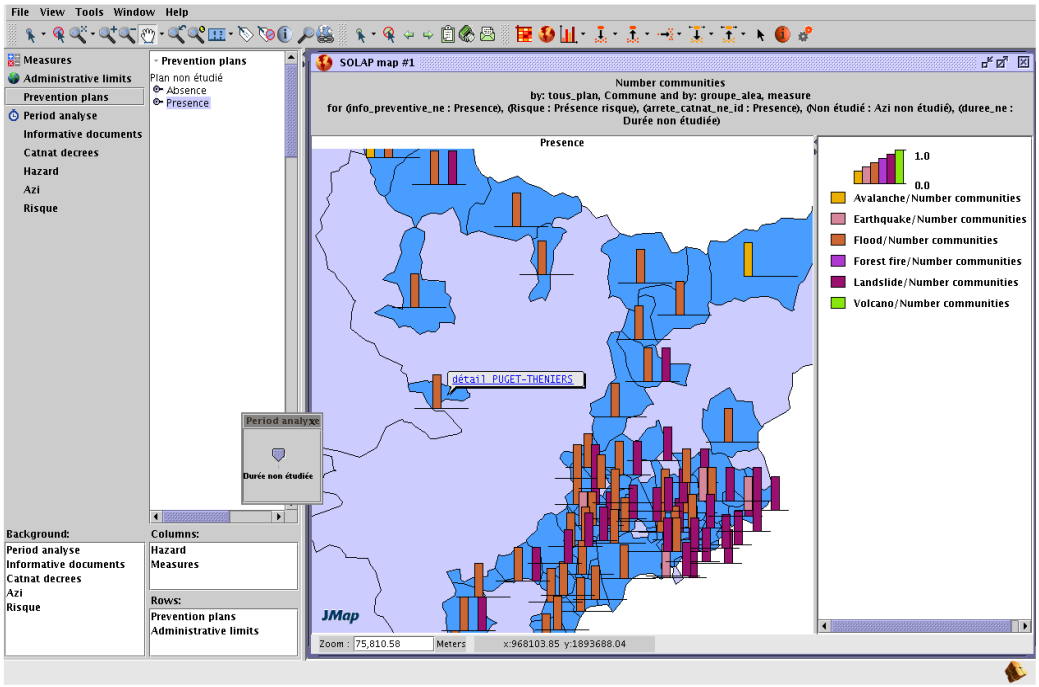


Figure 26 – Illustration du Cube SOLAP sur l'évaluation des mesures préventives des communes du département des Alpes Maritimes (extrait de [Iris et al., 2006])

II.2.3.ii. SOLAP appliqué à l'assurance

Aucune application géodécisionnelle n'a été développée spécifiquement pour le secteur de l'assurance. Quelques projets intègrent des données de l'assurance dans des applications traitant des problématiques plus globales.

Au sein du laboratoire LASIG de l'Ecole Polytechnique de Lausanne a été mené en 2007 un projet de réalisation d'une interface d'analyse sur l'usage foncier des sols en Suisse afin que celui-ci soit le plus durable possible selon une dimension économique, sociale et environnementale [Borgeaud, 2007]. L'interface, illustrée dans la figure 28, a été réalisée avec la technologie Jmap-SOLAP et à partir de données cadastrales et foncière mais aussi de données relatives au réseau routier. Cette étude présente un intérêt majeur puisqu'il démontre qu'il est possible fonctionnellement de construire un cube SOLAP à partir de la confrontation de données publiques (cadastres, routes) et de données privées (propriétés foncières) dans un SIGD. Dans la typologie des propriétaires, apparaît la catégorie « Assurance » englobant les biens de l'ensemble des compagnies d'assurance sans distinguer les sociétés entre elles. Les banques sont aussi présentes comme il est possible de le voir dans l'illustration suivante extraite de [Borgeaud, 2007] à partir de l'interface Jmap-SOLAP.

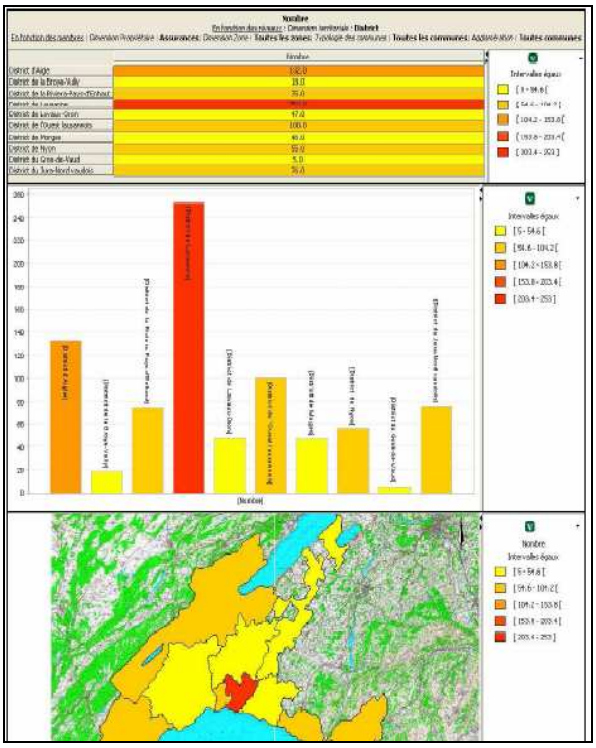


Figure 27 - Réponse à la requête : Nombre de parcelles d'assureurs, de tous les types de commune (typologie et agglomération), de tous les types de zone, pour les districts du canton [Borgeaud 2007]

II.2.4. Conclusion du chapitre

Ce chapitre a permis de rassembler les éléments permettant de définir le géodécisionnel et les Systèmes d'Information géodécisionnels (SIGD). Comme expliqué il s'agit d'un domaine encore émergent qui n'a pas encore fait l'objet d'une véritable appropriation par le monde économique des entreprises comme le secteur de l'assurance par exemple.

Au cours de ce chapitre il a été montré que les SIGD reposent avant tout sur les fondements des Systèmes d'Information Décisionnels (SID). Les SID sont utilisés dans les systèmes d'information des entreprises comme une surcouche des systèmes d'information opérationnels (SIO) fonctionnant sur un mode transactionnel (OLTP). L'OLTP fonctionne dans des environnements de type Ordinateur Central (Mainframe) ou bien de type SGBD Relationnel. La méthode de modélisation conceptuelle et logique repose sur le concept d'Entités-Associations dont les caractéristiques sont de respecter des standards de normalisation afin de garantir l'unicité et l'intégrité des données ainsi que d'éviter toutes les redondances possible. Les SID en revanche reposent sur une technique de modélisation dite multidimensionnelle dont les caractéristiques sont de pouvoir accéder rapidement aux valeurs des indicateurs de la problématique traitée ; les standards de normalisation du relationnel ne sont volontairement pas respectés. Cette modélisation s'appuie sur les concepts de « Fait », « Mesure», « Dimension », « Hiérarchie », « Membre » choisis en accord avec les besoins et la représentation mentale des décideurs. Cette technique de modélisation permet l'analyse à

des niveaux détaillés comme à des niveaux agrégés suivant différentes thématiques permettant de générer des vues de synthèse. On a pu voir que les SID sont utilisés dans les sociétés d'assurance pour le reporting technique opérationnel du suivi de l'activité au travers d'interface OLAP mais aussi à pour du reporting stratégique au travers de Tableaux de Bord Stratégiques.

Les SID ont fait leurs preuves en termes d'efficacité et de performance pour l'analyse à partir des sources de données hétérogènes distribuées dans les systèmes d'information de des entreprises. En revanche les SID ne prennent pas en compte la composante géographique des données. Or cette composante est essentielle pour l'analyse des risques naturels (cf. Chapitre 1) : confronter les données géographiques produites par l'Etat et les données privées géoréférencées produites et gérées par les sociétés d'assurance. L'analyse géographique est le propre de la géomatique pour l'acquisition, les traitements et l'exploitation des données géographiques. Il a été montré que les technologies de la géomatique au travers des SIG, du GPS et du Web ont atteint un degré de maturité tel que les entreprises ont amorcé un véritable travail d'appropriation pour le développement de nouvelles affaires. C'est le cas des sociétés d'assurance avec les exemples du géomarketing pour la répartition des points de vente, ou le « Pay as you drive » pour exploiter le GPS afin de tarifer la prime d'assurance Automobile en fonction du nombre réel de kilomètres parcourus ou encore l'exemple de la balise GPS Argos de la MAIF pour déclencher les mesures d'urgence en cas d'accident. Mais la géomatique repose sur des processus OLTP n'intégrant pas des fonctionnalités permettant d'obtenir des vues de synthèse comme le permettent les processus OLAP.

Les SIGD sont à l'interface entre la géomatique et les SID ; il s'agit d'un enrichissement de la modélisation multidimensionnelle en intégrant la composante spatiale. Une synthèse a été faite des offres de technologies géodécisionnelles. On a pu constater qu'il existe des solutions à dominante SIG, des solutions à dominante OLAP et des solutions intégrées. Les solutions intégrées sont les plus abouties puisqu'elles exploitent au mieux les fonctionnalités de l'OLAP et celles de la géomatique dans une même plateforme technologique. C'est le cas du Spatial OLAP développé au CRG de l'Université Laval ; il s'agit de la technologie utilisée pendant la thèse pour réaliser les expérimentations.

La méthode de modélisation des SIGD est la modélisation spatiale multidimensionnelle. Celle-ci s'appuie sur les concepts de « Dimension spatiale », « Mesure spatiale » venant enrichir le modèle classique multidimensionnel. Un nouveau type de dimension a été présenté à savoir la « Dimension opérateur » pour faire référence à des résultats d'opérations topologiques stockées dans le « Cube » de données spatial multidimensionnel. Les « Dimensions spatiales » comme les « Mesures spatiales » sont rattachées à des objets géométriques permettant d'obtenir une représentation sous forme de vue cartographiques thématiques combinables avec des vues graphiques et tabulaires dans une seule interface.

La méthode de modélisation multidimensionnelle et spatiale multidimensionnelle a été illustrée au travers de l'exemple du suivi de l'exposition des « Sites assurés » aux inondations par une société d'assurance. Cela démontre qu'il est possible de transposer conceptuellement et logiquement la méthode de modélisation sur un problème de base de l'assurance des

risques naturels à savoir rendre visible l'exposition des portefeuilles d'assurés face à un aléa naturel.

Des exemples de réalisation ont été présentés notamment au travers de la technologie Spatial OLAP. On a pu voir que sur les risques naturels le CRG et le CRC ont amorcé les premiers travaux pour l'analyse de ces risques d'une part concernant l'évaluation du risque d'érosion des berges en Gaspésie, et d'autre part le suivi de l'évolution des mesures administratives des communes en France. Concernant l'implémentation dans le secteur de l'assurance seul le cas d'étude réalisé au sein du LASIG de l'EPFL fait apparaître de façon intégrée les propriétés foncières des sociétés d'assurance dans une interface SOLAP pour le suivi du foncier dans les cantons de Suisse.

Après avoir rassemblés tous les éléments permettant d'expliciter ce que l'on entend par géodécisionnel, il convient maintenant d'étendre le travail de modélisation à des cas d'étude traitant davantage de la complexité des besoins d'analyse relatifs à la problématique de l'assurance des risques naturels en France. C'est l'objet du chapitre suivant.

CHAPITRE III.
MODELISATION GEODECISIONNELLE APPLIQUEE A LA PROBLEMATIQUE DE L'ASSURANCE DES RISQUES NATURELS

Ce chapitre a pour objet de présenter la démarche de modélisation pour mener à bien la réalisation de prototypes géodécisionnels appliqués à la problématique de l'assurance des risques naturels. L'objectif est d'aboutir à des prototypes exploratoires ou expérimentaux pour démontrer le potentiel méthodologique et technologique des Systèmes d'Information Géodécisionnels.

Etant donné qu'il s'agit d'une démarche exploratoire et expérimentale le travail de recherche repose sur une étape de modélisation qui précède une étape d'implémentation des prototypes.

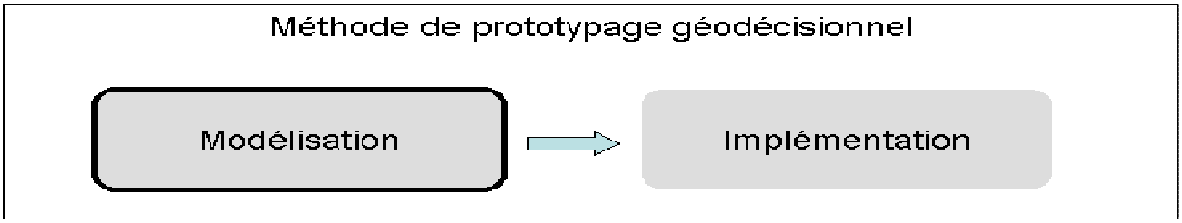


Figure 28 – Schéma de la méthode globale de la méthode de prototypage géodécisionnel

La phase de « Modélisation » permet à partir des éléments d'expression des besoins d'aboutir à la conception d'un modèle spatial multidimensionnel. La phase d' « Implémentation » permet à partir d'un modèle spatial multidimensionnel de réaliser l'ensemble des phases d'ingénierie pour aboutir à la restitution dans une interface d'analyse et d'exploration des indicateurs. Ce chapitre traite uniquement sur la phase de Modélisation tandis que le Chapitre IV se concentre sur la phase d'Implémentation.

La démarche de Modélisation développée dans ce chapitre a été conçue spécifiquement pour la problématique à partir des retours d'expérience des travaux menés au Centre de Recherche en Géomatique (CRG) autour de la technologie Spatial OLAP, des travaux du CRC menés conjointement avec le secteur de l'assurance (MRN, MAIF et AXA) ainsi que les phases clés de conception propre au génie Logiciel.

La démarche de Modélisation se décompose en un ensemble de cinq étapes clés schématisé dans la figure 30.

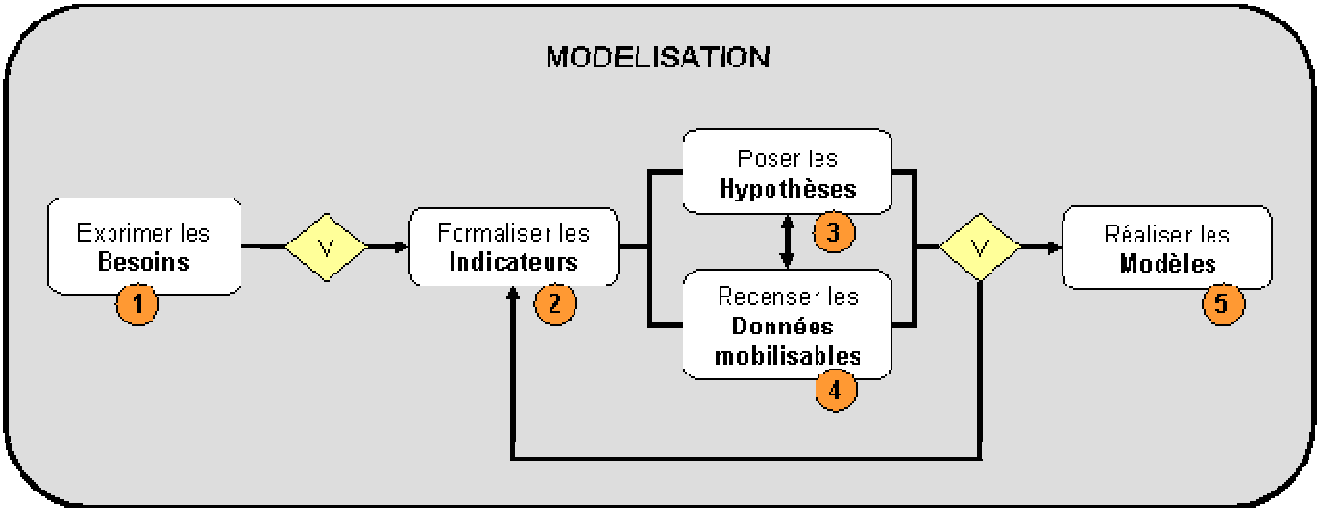


Figure 29 – Schéma des étapes de la démarche de Modélisation

Les cinq étapes clés de la modélisation sont :

1) **Exprimer les Besoins** : il s'agit de réaliser un document listant l'ensemble des besoins d'analyse et de pilotage permettant de disposer d'éléments pour répondre à la problématique. Les besoins exprimés dans ce chapitre ont été formalisés à partir des études réalisées par le CRC avec le secteur de l'assurance. L'expression des besoins est conditionnée par un point de contrôle ou de validation permettant de s'assurer que les besoins traités sont pertinents. Un ensemble de professionnels ont été sollicités pour donner leur avis sur la question.

2) **Formaliser les Indicateurs** : il s'agit de formaliser de façon détaillée les indicateurs que l'utilisateur final souhaite suivre afin d'identifier les éléments structurants du modèle spatial multidimensionnel. La formalisation des indicateurs fait l'objet d'un processus itératif à partir de l'offre des données disponibles et des hypothèses faites sur le modèle. Le processus itératif va permettre d'affiner progressivement la nature des indicateurs afin de faire apparaître les « Mesures », les « Faits », les « Dimensions ».

3) **Poser les Hypothèses** : l'observation de la réalité opérationnelle de l'hétérogénéité des données, décrite dans le chapitre I, oblige à poser un certain nombre d'hypothèses pour s'affranchir en partie de certains problèmes d'exploitabilité des données. Cette étape est réalisée en parallèle avec l'étape de « Recensement des donnés mobilisables » afin d'affiner les hypothèses au regard de certains facteurs réglementaires notamment qui vont impacter à l'avenir la structuration et la diffusion des données géographiques et non géographiques.

4) **Recenser les Données Mobilisables** : le travail de modélisation s'appuie sur des référentiels de données géographiques et non géographiques à mobiliser pour consolider les indicateurs. Certaines de ces sources de données ont été évoquées dans les deux chapitres précédents. Cette étape vise à identifier quelles sont les sources de

données les plus pertinentes à mobiliser pour arriver à construire les indicateurs de l'étape 2). Cette étape fait l'objet d'aller-retour avec l'étape 3) sur les hypothèses.

5) **Réaliser le Modèle** : une fois les « Indicateurs » formalisés, les « Hypothèses » posées et les « Données mobilisables » recensées, il convient de concevoir le modèle spatial multidimensionnel. Comme explicité dans le chapitre II on distingue le modèle conceptuel et le modèle logique ; dans cette étape les deux modèles sont traités. Ainsi on aura d'une part l'identification des concepts clés (« Faits », « Dimensions », « Mesures », « Hiérarchie ») puis l'assemblage logique dans un modèle spatial multidimensionnel. Ce travail nécessite d'étudier de manière approfondie les données manipulées et les indicateurs pour être capable de conceptualiser l'ensemble dans une vision homogène.

Ce chapitre va s'attacher à présenter l'illustration de la démarche de modélisation au travers de deux exemples.

Le premier exemple traitera le problème de l'évaluation l'efficacité et de la pertinence des mesures préventives mise en œuvre par l'Etat dans les zones à risque. La réalisation de ce modèle fut alimentée par les résultats de l'étude menée par le CRC sur l'évaluation des Plans de Prévention des Risques (PPR) dont les résultats ont fait l'objet d'un rapport détaillé en 2007 [Etude PPR, 2007]. On distingue deux modèles différents à savoir un premier sur l'évaluation de la pertinence des mesures préventives (identifier si les mesures sont orientées vers les zones les plus exposées du niveau d'une commune jusqu'au niveau France entière) et le second sur l'évaluation de l'efficacité de la mise en application des mesures (identifier par exemple à l'intérieur des communes à risque où des PPR ont été réalisés si les règlements associés sont bien respectés).

Le second exemple concernera l'évaluation de l'exposition et des pertes financières potentielles d'un ensemble de portefeuilles d'assurés face aux inondations. Ce modèle fait appel à des notions d'endommagement, de conditions d'assurance et à la structuration des données à l'intérieur d'une société d'assurance.

III.1. Cas d'étude sur l'évaluation des mesures de prévention

Dans le cadre de l'évaluation des mesures de prévention on distingue deux thèmes d'analyse à savoir celui de la pertinence des mesures et celui de leur efficacité. Des travaux ont été menés conjointement entre le CRC et la MRN pour le compte des sociétés d'assurance adhérentes de la FFSA et du GEMA sur le thème de l'évaluation et du diagnostic des PPR. Des groupes de travail composés d'intervenants provenant de différentes entreprises et mutuelles d'assurance ont permis de préciser les besoins et les attentes du secteur sur ce sujet d'étude. La distinction entre pertinence et efficacité s'est rapidement imposée ; la pertinence concerne l'évaluation des communes pour lesquelles des plans de prévention ont été prescrits et approuvés au regard des niveaux d'exposition des biens et des personnes, l'efficacité concerne l'évaluation de la

prise en compte des mesures réglementaires préventives sur l'urbanisme dans les communes à risque. Ce cas d'étude fait l'objet de deux modèles. Il convient maintenant de détailler chacune des étapes de la démarche de modélisation explicitée en préambule de ce chapitre.

III.1.1. Etape 1 : Expression des besoins

Cette étape correspond à l'étape 1) de la démarche de modélisation ; l'expression des besoins vient rassembler les éléments permettant de formaliser les indicateurs pertinents pour le cas d'étude à analyser.

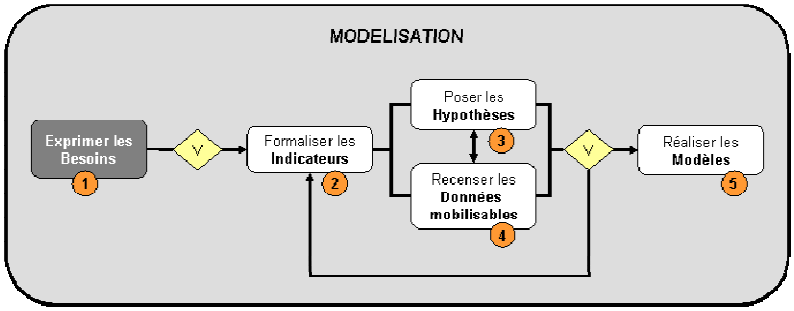


Figure 30 – Etape 1 « Exprimer les besoins » de la démarche de modélisation

III.1.1.i. Rappel sur les mesures préventives

Les assureurs sont associés à l'Etat pour garantir aux citoyens qu'ils seront indemnisés en cas de survenance d'une catastrophe naturelle (inondation, sécheresse, mouvement de terrain). Depuis 1982 le régime CatNat a été conçu de telle manière que ce sont les pouvoirs publics qui prennent en charge les mesures structurelles pour la protection et la prévention. Les assureurs quant à eux interviennent uniquement lors de l'indemnisation des dommages aux biens dès lors qu'il y a la publication d'un arrêté interministériel pour chaque commune impactée. Alors que ce régime semble être promis à une réforme devant impliquer davantage les assureurs dans la gestion opérationnelle des risques naturels, ceux-ci souhaitent dispose d'une vision plus claire de l'état de la politique de prévention sur l'ensemble du territoire.

En effet il est clair que plus la politique de prévention est pertinente et efficace ; moins les dommages aux biens et aux personnes sont susceptibles d'être importants. Indirectement cela réduit les pertes potentielles pour le secteur de l'assurance dans les zones urbaines exposées aux aléas naturels. La politique de prévention repose sur :
- la diffusion de documents d'information préventive auprès des citoyens (DCS, DICRIM, DDRM) ;
- la réglementation de l'urbanisme des zones urbaines exposées aux risques naturels (PPR).

Le plan de zonage réglementaire d'un PPR permet de contraindre les constructions pour réduire les dommages potentiels (en zone bleue il s'agit de prescription et en zone rouge d'interdiction de construire. Le PPR joue un rôle dans la relation entre l'assureur et l'assuré

puisque des mesures incitatives visent à forcer le maire à mettre en place un PPR s'il y a eu plusieurs arrêtés Catnat dans la commune dans une tranche de 5 ans. Ce principe est désigné par le terme modulation de franchise[5].

Dans ce contexte, les assureurs tentent d'évaluer la pertinence et l'efficacité des PPR et ainsi être force de proposition auprès des pouvoirs publics afin d'améliorer le système. Comme l'a montré l'étude sur les PPR ([Etude PPR, 2007]) il s'agit dans un premier temps de mesurer l'avancement des prescriptions et des approbations des PPR et de constater si oui ou non la priorisation est en phase avec le degré d'exposition des biens et des personnes aux risques naturels. Dans un second temps et se basant sur les résultats d'une hiérarchisation des communes et des zones ayant un fort taux d'exposition à l'aléa, il s'agit d'étudier si les réglementations des PPR sont bien prises en compte ; respect des prescriptions en zones bleues et des interdictions en zones rouges sur les anciennes comme sur les nouvelles constructions.

III.1.1.ii. Les besoins fonctionnels

Les besoins dans ce domaine se déclinent sur deux thèmes identifiés au cours des études MRN sur l'évaluation des PPR : la pertinence et l'efficacité.

Le terme de « Pertinence » désigne dans ce contexte le fait que l'avancement des mesures préventives (les PPR) est en phase avec le degré d'exposition des biens et des personnes aux aléas ainsi que le retour d'expérience sur les sinistres passés. Ces éléments permettent d'analyser la pertinence des choix de mise en œuvre des PPR.

Le terme d' « Efficacité » désigne dans ce contexte le fait que les règlements des zonages compris dans les PPR sont bien appliqués (interdictions, prescription, etc.) au niveau du futur bâti et de l'existant. Par ailleurs l'efficacité désigne aussi une bonne adéquation entre les degrés d'exposition aux aléas et le zonage réglementaire.

L'objectif est de proposer un modèle spatial multidimensionnel permettant d'augmenter la lisibilité sur des questions du type :

- Sur la « Pertinence des mesures préventives » :
    - Quelles sont les communes ayant le plus de logements inondables, ayant subies des catastrophes naturelles, et n'ayant toujours pas de PPR approuvé ?
    - Quels sont les types de logements concernés ?
    - Quelles sont les synthèses au niveau de la France Entière, par région et par département ?

- Sur l' « Efficacité des mesures préventives » :
    - Quelles sont les zones d'interdiction des PPR pour lesquels il y a eu des permis de construire attribués depuis la date d'approbation ?

[5] La modulation de franchise permet de multiplier la franchise auprès des assurés dès lors qu'il y a des arrêtés catnat dans les communes n'ayant pas de PPR prescrit ou approuvé.

- Quels sont les types de constructions et les étapes d'avancement des constructions ?
- Quelles sont les densités existantes de construction dans les zones réglementaires ?
- Quelle est l'adéquation entre le zonage de l'aléa et le zonage réglementaire ? Y a-t-il des surfaces de zones d'aléas non couvertes ?
- Quelles sont les synthèses au niveau de la France Entière, par région et par département, par commune ?

Ces questions ont été recensées lors des séances de travail organisées par la MRN réunissant des professionnels de l'assurance des compagnies et des mutuelles d'assurance. Les résultats et la synthèse des besoins exprimés figurent dans les documents livrables de l'étude PPR [Etude PPR, 2007].

III.1.2. Etape 2 : Formaliser les Indicateurs

Cette étape correspond à l'étape 2) de la démarche de modélisation ; la formalisation des indicateurs identifie les valeurs que l'on souhaite suivre.

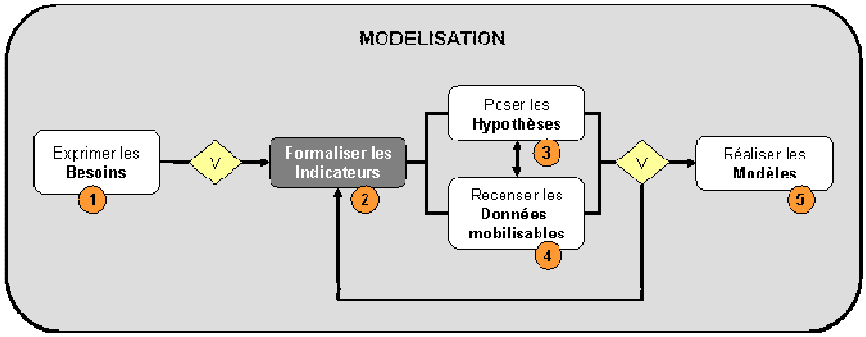


Figure 31 – Etape 1 « Exprimer les besoins » de la démarche de modélisation

Pour répondre aux questions exprimées dans les besoins fonctionnels, il faut étudier quels sont précisément les indicateurs que l'on souhaite suivre et de quelle manière.

La formalisation des indicateurs fait l'objet d'un processus itératif avec le « Recensement des Données Mobilisables » et la « Formalisation des Hypothèses ».

III.1.2.i. Les indicateurs sur la pertinence des mesures préventives

La pertinence consiste à étudier les corrélations entre l'avancement de la mise en place des mesures préventives (c'est-à-dire la réalisation des PPR) avec les éléments permettant de caractériser le degré d'exposition aux aléas.

Concernant l'avancement des mesures préventives cela correspond à évaluer le degré d'avancement de la réalisation des PPR. Il existe deux étapes structurantes dans le processus

d'élaboration des PPR ; la prescription via un arrêté préfectoral signifiant au maire l'ordre de mener à bien la réalisation du PPR (recueil des données terrain, élaboration des cartes d'aléas, étude de la vulnérabilité, élaboration du zonage réglementaire), l'approbation via un arrêté préfectoral signifiant la mise en application des règlements décrits dans le PPR annexé au Plan Local D'Urbanisme. Ainsi le suivi de l'avancement est à étudier au travers de ces deux étapes d'avancement ; si le PPR est prescrit depuis plus de 4 ans mais pas approuvé alors potentiellement la modulation de franchise peut être appliquée. S'il n'y a aucune procédure entamée alors il faut porter attention au degré d'exposition.

L'avancement des PPR est à mettre en relation avec la survenance des arrêtés Catnat. Ceux-ci sont publiés au journal officiel à une date donnée par aléa et par commune. La liste des arrêtés par commune et par aléa permet de mesurer le niveau de survenance de catastrophes naturelles dans la commune. La comparaison dans le temps du nombre d'arrêtés Catnat avec l'étape d'avancement du PPR fournit des premiers éléments sur la pertinence des mesures appliquée. L'utilisateur peut ainsi identifier les communes ayant le nombre le plus important d'arrêtés Catnat et va regarder si la procédure d'élaboration du PPR est en retard. Cette comparaison est un premier seuil d'alerte.

Cette situation est à confronter avec des données quantitatives sur l'évaluation de l'exposition de l'habitat aux zones d'aléas. Ainsi il faut comptabiliser le nombre d'habitations exposées par type de zone d'aléa mais aussi segmenter par type d'habitation pour identifier les logements de particuliers, les bâtiments professionnels et les entreprises. Cette segmentation permet d'identifier la population d'assurés concernés par l'exposition. Le type de zone d'aléa permet de qualifier le degré d'intensité de l'exposition des biens ; pour l'exemple de l'inondation on pourra savoir quelles sont les habitations en zone inondable classée par fréquence de crue (Exceptionnelle, Fréquente, Très fréquente), pour l'exemple de la sécheresse géotechnique les zone seront classées par degré d'intensité (Faible, Moyen, Fort).

La comparaison du nombre d'habitations exposés aux inondations avec le nombre d'arrêtés Catnat et la présence ou pas d'un état d'avancement d'un PPR permet d'identifier les communes à risque sur le plan administratif. L'utilisateur pourra se poser la question de savoir pourquoi une commune ayant à la fois connu des arrêtés Catnat, des logements exposés et pas de PPR approuvé depuis plusieurs années. La notion de temps est importante notamment la concentration du nombre d'arrêtés dans les dernières années est à mettre en comparaison avec la durée de la prescription.

En identifiant les communes il sera possible de voir la concentration de communes dans les bassins de risque et de voir si certaines zones géographiques présentent des signes de retard plus importants que la normale. Le tableau 4 synthétise les différents critères identifiés comme permettant d'évaluer la pertinence des mesures préventives.

Critères d'évaluation de la pertinence	Variable associée
Avancement du PPR	Détail de l'avancement : date de prescription, d'approbation, absence de procédure
Survenance de catastrophes naturelles	Comptabilisation du nombre d'arrêtés Catnat
Exposition des habitations par zone d'aléa	Comptabilisation des types de logements par type de zone d'aléa
Contexte temporel	Comptabilisation de la durée depuis la prescription
Identification des communes en retard dans l'avancement des procédures	Comptabilisation des communes cumulant absence ou prescription de PPR, présence d'arrêtés Catnat et/ou présence d'habitations exposées

Tableau 4 - Synthèse des critères d'évaluation de la pertinence des mesures préventives

III.1.2.ii. Les indicateurs sur l'efficacité des mesures préventives

Pour l'évaluation de l'efficacité des PPR, il est nécessaire d'analyser des informations relatives aux constructions à l'intérieur des communes. L'idée est de juger de la qualité des PPR au regard du bon respect des règlements d'urbanisme selon le degré d'exposition à l'aléa.

Comme le montrent les résultats de l'étude CRC/MRN il est important d'analyser d'une part les constructions futures et de l'autre les constructions existantes. L'analyse des constructions se fait par l'analyse du nombre de permis de construire délivrés dans les parcelles cadastrales des communes à risque.

Les constructions après approbation du PPR doivent être strictement contrôlées concernant le respect des règlements du plan de zonage réglementaire. On se concentre plus particulièrement sur les zones d'interdiction (zones Rouges). Il est important de suivre le nombre de constructions réalisées en « Zones Rouges » au regard de la date d'approbation de chaque PPR. Pour l'évaluation de l'existant « pré-approbation », il est important d'étudier la densité des constructions pour savoir quel est le volume de constructions soumises à un règlement. Pour les « Zones Bleues », l'évaluation est de même nature mais avec un degré de vigilance différent puisqu'il s'agit de prescriptions et non pas d'interdictions ; les nouvelles constructions sont autorisées sous conditions et par conséquent seule la surveillance de la densité des constructions dans ces zones est pertinente.

Un autre critère d'évaluation est l'analyse de la qualité de l'adéquation entre le zonage de l'aléa et le zonage réglementaire du PPR. Pour cela on va étudier les surfaces où le zonage de l'aléa n'est pas compris dans une zone réglementaire. Il s'agit d'un des critères de qualité des PPR identifié dans l'étude CRC/MRN.

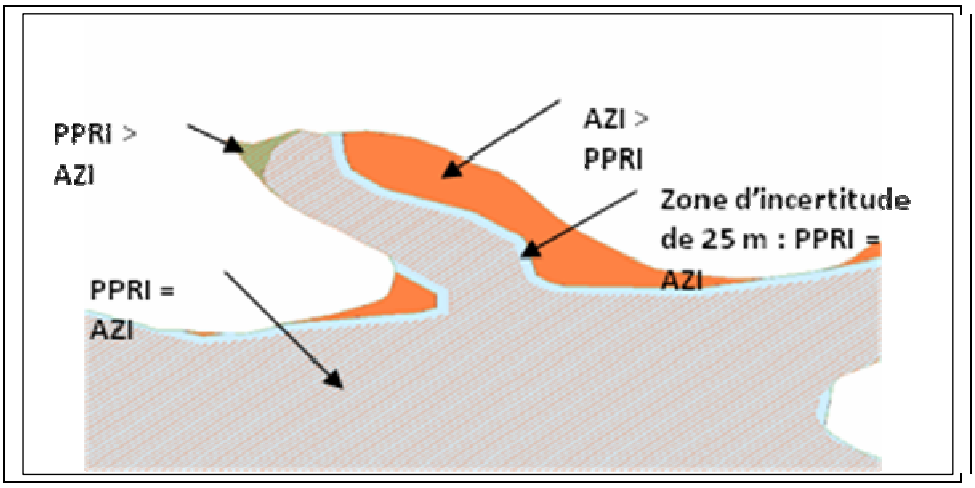


Figure 32 – Exemple de la comparaison entre le zonage réglementaire et le zonage de l'aléa Inondation (Atlas des Zones Inondables (AZI) et zone rouge PPR) [EtudePPR, 2007]

L'analyse de l'efficacité d'un PPR repose sur la conjugaison de l'ensemble de ces critères qui permet de fournir des critères de notation ; le degré d'adéquation entre le zonage aléa et le zonage réglementaire conjugué au degré de bonne application du règlement dans les zones d'interdiction et de prescription. Ces éléments permettent de hiérarchiser les PPR selon leur niveau d'efficacité et de qualité. L'évolution des constructions est à étudier dans le temps en faisant varier par année ou par mois pour observer les tendances. Le tableau 5 synthétise les critères permettant de mesurer l'efficacité des mesures préventives.

Critères d'évaluation de l'efficacité	Variable associée
Respect des interdictions en Zone Rouge	Comptabilisation du nombre de constructions
Densité de constructions en zone à risque	Comptabilisation du nombre de constructions par rapport au nombre de parcelles dans les zones réglementaires
Adéquation du zonage Aléa et du zonage Réglementaire	Addition des surfaces résultant des comparaisons entre les zones d'aléas et les zones réglementaires
Contexte temporel	Prise en comte de la date d'approbation du PPR de chaque commune
Identification des parcelles présentant des anomalies à l'intérieur d'une commune	Comptabilisation et visualisation des parcelles ne respectant pas les règlements du PPR
Synthèse des communes (ainsi que des départements et des régions) ayant des PPR avec une mauvaise efficacité (constructions en zone Rouge et/ou mauvaise adéquation du zonage)	Regroupement des valeurs pour faire des synthèses par commune, département, région, etc.

Tableau 5 - Synthèse des critères d'évaluation de l'efficacité des mesures préventives

Cette étape de « Formalisation des Indicateurs » a permis d'identifier clairement les attentes en termes d'analyse. On constate notamment qu'il est nécessaire de pouvoir faire des synthèses sur l'ensemble du territoire national ; cela signifie que les calculs doivent pouvoir être généralisés à partir des données de toutes les communes de France. Or pour un même type de données l'offre est hétérogène selon la région où l'on se trouve, selon le producteur de données et selon la méthode utilisée pour la modélisation de l'aléa. Pour pouvoir continuer la modélisation et aboutir a la réalisation de prototypes exploratoires, il convient de formuler un certain nombre d'hypothèses. C'est l'objet de l'étape 3).

III.1.3. Etape 3 : Poser les Hypothèses

A partir des indicateurs formulés il est nécessaire de poser un certain nombre d'hypothèses essentiellement sur le sujet de la disponibilité et de la qualité des données pour bâtir le modèle spatial multidimensionnel. Cette étape est couplée avec l'étape 4) sur le « Recensement des données mobilisables » pour les modèles.

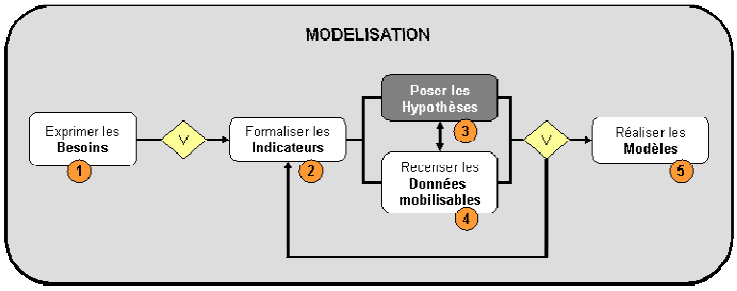


Figure 33 - Etape 3 « Poser les Hypothèses » de la démarche de modélisation

La qualité des données est un sujet sensible dans l'exploitation des données géographiques. Cela ne touche pas seulement au problème des risques naturels mais à l'ensemble des problématiques exploitant des sources de données géographiques. La qualité des données consiste à mesurer la capacité à être en conformité avec les usages prévus. Les données sont jugées de bonne qualité si elles représentent correctement le mode de fabrication auquel elles se réfèrent. La qualité est directement reliée aux notions d'incertitude et de pertinence de l'information. Certains déterminants de la qualité comme ceux proposés par [Reix, 2005] permettent de comprendre ce que l'utilisateur doit attendre des données pour prendre sa décision :

- le degré d'exhaustivité (de complétude) : concernant le sujet les sources de données ne couvre pas tout le territoire national ;
- la fiabilité : définie comme le degré de confiance dans la source ;
- l'accessibilité : l'accessibilité à la source de données est un frein par exemple pour la production régionale de certaines données (ex : les AZI sont produits différemment d'une DIREN à une autre).

L'utilisateur final doit être informé sur la qualité et l'incertitude des données pour chacune des sources mobilisées afin de réduire le risque de mauvaise utilisation et de prise de décision dans l'incertitude [Devillers et al., 2004]. Dans le travail présenté le positionnement est de considérer que certaines hypothèses doivent être formalisées afin de s'affranchir en partie de certains points de blocage et pouvoir ainsi proposer une approche prospective. Chacune des hypothèses est clairement formulée et isolée pour ne pas créer d'ambiguïté dans l'interprétation des résultats.

Dans le cadre de cette problématique, des croisements sont effectués entre des données sur le territoire (qualification de l'occupation du sol), des données sur les aléas naturels (qualification des inondations, sécheresse) et des données réglementaires (zonages réglementaires des PPR). Il existe des limites sur l'homogénéité des sources de données liées à l'organisation politique du territoire et des organismes en charge de consolider les données et de les mettre à disposition.

La modélisation présentée ne traite que de l'aléa inondation ; l'extension multi aléas est considérée sous forme de perspective dans la conclusion du manuscrit. Pour ce qui concerne les données relatives à la cartographie des Atlas des Zones Inondables ; la charge de la réalisation des modélisations visant à délimiter et qualifier les zones inondables a été confiée aux DIREN ce qui leur confèrent un certain degré de liberté dans le choix du type de modélisation. L'utilisation de différentes méthodes de modélisation dans les différents bassins versants pose des difficultés et révèle des contradictions comme le souligne le Guide sur les principes de modélisation des inondations de la DIREN PACA [Durin et al., 2007].

«Pendant longtemps, les méthodes d'analyse des phénomènes d'inondation (hydrogéomorphologie, historique et hydrologie-hydraulique) ont été employées en parallèle, sans lien entre elles, avec pour conséquence des pertes d'information et une sous-utilisation des données. Les grands événements récents ont mis en exergue la nécessité d'établir des interrelations entre ces trois approches plus complémentaires que contradictoires. » [Durin et al., 2007]

On distingue essentiellement trois approches de modélisation [Durin et al., 2007]:

- L'approche Hydrologique-hydraulique : consiste à qualifier et à quantifier par des formules mathématiques les écoulements des cours d'eau en reproduisant un scénario de crue donné. Cela permet d'estimer les caractéristiques spatiales (étendue, hauteur) mais aussi temporelle (temps de montée des eaux, durée de pic de crue, de la décrue). Les zones Inondables sont qualifiées par une échelle d'intensité en fonction des caractéristiques hydrauliques (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement) de chaque zone (« Faible », « Moyen », « Fort »).

- L'approche Hydrogéomorphologique : consiste à étudier la formation et le fonctionnement des plaines alluviales des cours d'eau à partir de la description des reliefs (talus, ruptures de pente), de la nature des sols (sédiments, végétation, etc.), de l'observation des crues historiques. Les zones inondables sont diagnostiquées à partir de l'identification des unités hydrogéomorphologiques de chaque cour d'eau. A chaque unité correspond une classe de fréquence : « Lit mineur » pour les crues « Très

fréquentes », « Lit moyen » pour les crues « Fréquentes », « Lit majeur » pour les crues « Rares » et « Lit majeur exceptionnel » pour les crue « Exceptionnelles ».

- L'approche des contours des Plus Hautes Eaux Connues : consiste à recenser l'ensemble des données sur les crues historiques pour définir le contour de l'emprise géographique de la crue la plus importante connues ou d'autres crues importantes passées.

Dans chaque région de France on trouvera une diversité de lots de données reposant sur l'une des trois approches. Ces lots sont disponibles sur la majorité des départements mais certains restent manquants encore à ce jour (c'est le cas des départements de la région « Aquitaine »). La « Directive européenne inondations », ayant pour but de définir un cadre pour la gestion du risque inondation sur les bassins à risque significatifs, recommande aux Etats européens d'homogénéiser la cartographie des inondations selon une approche Hydrogéomorphologique. Dans chaque zone il est par ailleurs recommandé de modéliser les caractéristiques comme la hauteur d'eau et le débit [Camphuis, 2008]. En France l'approche Hydrogéomorphologique est aussi recommandée dans la cartographie par les ministères en charge de la prévention des inondations.

Hypothèse 1
Par conséquent la première hypothèse formulée est de considérer que tous les bassins versants disposent de lots de données cartographiques des zones inondables homogènes reposant sur une approche Hydrogéomorphologique dont les caractéristiques ont été précisées précédemment.

L'autre hypothèse concerne les PPR ; ceux-ci présentent aussi des problèmes d'hétérogénéité dans la manière de réaliser les Plans de Zonage Réglementaire. La réalisation des PPR est à la charge des préfets et des maires des communes à risque. Le zonage figure dans le plan de zonage réglementaire annexé au plan local d'urbanisme ; il contient les zones dans lesquelles sont applicables les interdictions, les prescriptions réglementaires. Conventionnellement, ces zones sont définies sur des critères de constructibilité et d'aménagement de l'espace pour permettre la gestion des risques (favoriser l'écoulement des cours d'eau). Or comme le souligne Blanchi dans son analyse des PPR [Blanchi et al., 2003], d'une commune à une autre la nomenclature désignant les types de zones et les règlements associés divergent (ex : une zone rouge peut être représentée par les termes A1, A2, A3 dans une commune et R1, R2 dans une autre).

Le MEEDDAT a réalisé depuis plusieurs années un guide méthodologique pour réaliser les cartographies et le plan de zonage constituant le dossier PPR [Guide PPR, 1997], [Guide PPR, 1999]. Des recommandations sont faites sur la nomenclature des zones réglementaires :

- « Zone Rouge » : zone inconstructible qui regroupe les zones d'aléa fort et certaines zones d'aléa moyen.

- « Zone Bleue » : zone constructible sous condition de réalisation d'aménagement, d'utilisation et d'entretien permettant de ne pas aggraver l'aléa. Cela correspond dans la majorité des cas aux zones d'aléa faible.
- « Zone violette ou jaune » : il s'agit de zones qui peuvent rester inconstructibles de part le degré trop important de sensibilité à l'aléa ou bien parce qu'il s'agit d'une zone d'aggravation du risque.
- « Zone blanche » : zone ne nécessitant pas de réglementation particulière.

Hypothèse 2
L'hypothèse faite sur les PPR est de considérer que tous les plans de zonage réglementaires appartenant à un dossier PPR d'une commune à risque sont structurés de façon homogène en respectant la typologie de zonage du guide méthodologique du MEDDAT précisée précédemment.

L'analyse de la bonne mise en application des PPR nécessite d'étudier les autorisations de permis de construire accordées dans les « Zones réglementaires ». Pour se faire il est nécessaire de disposer des données homogènes exploitables sur l'ensemble des communes considérées. Pour cela il faut pouvoir joindre à chaque parcelle cadastrale des communes ayant un PPR approuvé les données descriptives sur l'avancement des permis de construire. Deux sources de données permettent de réaliser cette jointure ; la base de données SITADEL du MEEDDAT recensant l'avancement des dossiers de permis de construire à l'échelle nationale et la BD PARCELLAIRE de l'IGN contenant les plans cadastraux numérisés. Or, d'une part la BD Parcellaire ne couvre pas la totalité du territoire national et d'autre part les références cadastrales ne sont pas systématiquement renseignées lors de la saisie des permis de construire dans la BD SITADEL. Ainsi il faut considérer que pour chaque parcelle cadastrale numérisée on est capable d'associer informatiquement les références aux permis de construire ayant été accordés.

Hypothèse 3
L'hypothèse est de considérer que la BD PARCELLAIRE et la BD SITADEL sont alimentées de façon exhaustive pour l'ensemble du territoire national. Chaque Permis de Construire enregistré informatiquement dispose d'une référence à une parcelle cadastrale existante.

Comme précisé précédemment, la formulation des hypothèses s'appuie sur la bonne compréhension des données mobilisables. C'est l'objet de l'étape suivante dans la démarche de modélisation de recenser les données mobilisables. Les deux étapes s'effectuent en parallèle.

III.1.4. Etape 4 : Recenser les données mobilisables

Cette étape correspond à l'étape 4) de la démarche de modélisation. Elle vise à recenser l'ensemble des données mobilisables permettant de consolider les indicateurs du modèle.

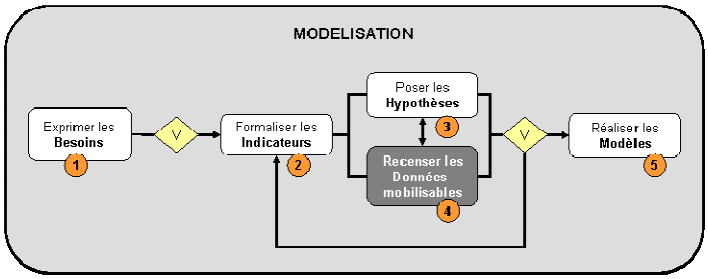


Figure 34 - Etape 4 « Recenser les données mobilisables » de la démarche de modélisation

On distingue deux types de données : celles sur les enjeux et l'occupation du sol et celles sur les risques naturels (zonage de l'aléa (Inondation) et le zonage réglementaire (PPR)). Les données sont géographiques et non géographiques ; d'une part pour la représentation géométrique des éléments étudiés et d'autre part pour qualifier, quantifier ou décrire chaque objet géométrique sous forme d'attributs textuels ou numériques.

III.1.4.i. Les données mobilisables sur l'occupation du sol

Concernant l'occupation du sol il s'agit d'identifier les sources permettant de qualifier la nature des biens et des zones qui couvrent le territoire ; cela concerne aussi bien les bâtiments que les personnes, les activités (professionnel, entreprise, particulier, commercial), les types de biens (mobiliers, stocks, marchandises, etc.). Pour chaque découpage administratif du territoire il est possible d'associer des indicateurs quantitatifs et qualitatifs propres à l'analyse sous forme de données attributaires. Il s'agit généralement de sources que l'on appelle référentiels dans le sens où elles font office de référence pour tous les acteurs de la gestion du territoire : aménagement du territoire, gestion des réseaux techniques urbains, etc. Voici les données mobilisées dans le cadre de la réalisation des modèles sur la pertinence et sur l'efficacité des mesures préventives :

- La Base de données GEOFLA de l'IGN : contient les données cartographiques des unités administratives de la France métropolitaine; communes, cantons, arrondissements, départements, régions. Cette base de données est utile car elle est la seule à contenir les contours géographiques dans un format vectoriel. Etant données que la commune est un élément souvent utilisé pour les traitements, les données attributaires des polygones communes sont souvent enrichis d'autres indicateurs provenants d'autres sources de données [GEOFLA, 2008].

- Les Bases de données sociaux démographiques de l'INSEE (Habitat, Démographie, Activité) ; bases de données géographiques contenant les contours des îlots utilisés pour le recensement de la population avec des données attributaires sur la quantité de logements, de résidences, de professionnels, d'habitations collectives, mais aussi sur la population, les activités. Un îlot correspond à un quartier d'environ 5000 habitants. A chaque îlot correspond un polygone. Une commune correspond à un regroupement d'un ou plusieurs îlots [INSEE, 2008].

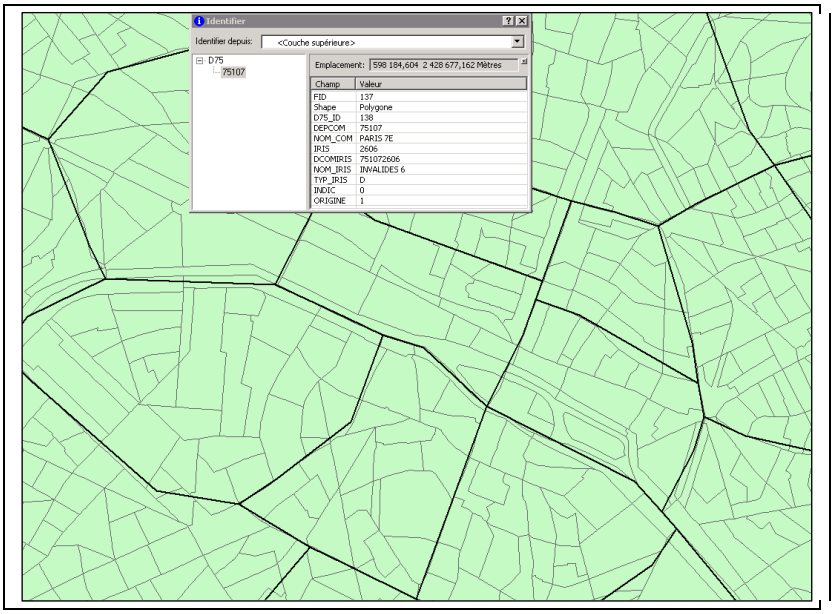


Figure 35 – Illustration du découpage en îlots Iris avec des attributs de la base Iris Profils (extrait de [INSEE, 2008])

- La Base de données Parcellaire de l'IGN : contient l'information cadastrale numérique, géoréférencée et continue des communes. Cette base est construite à partir de l'assemblage des plans cadastraux dématérialisés. Chaque parcelle contient les références cadastrales (section division, parcelle) permettant de faire la jointure avec d'autres données comme les permis de construire (SITADEL). On y trouve aussi les contours géométriques des bâtiments à l'intérieur de chaque parcelle [PARCELLAIRE, 2008].

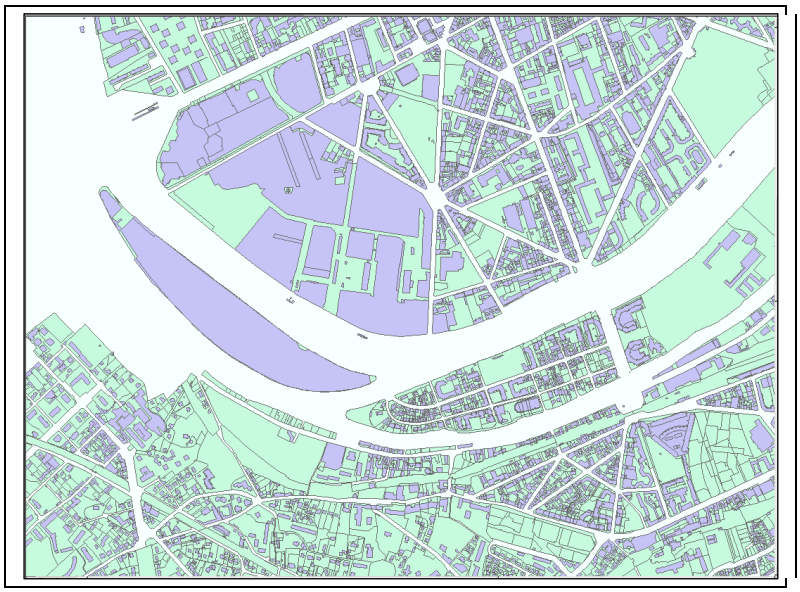


Figure 36 – Illustration des contours des parcelles cadastrales et des bâtiments (extrait de [PARCELLAIRE, 2008])

- La Base de données (non géographique) SITADEL ; Système d'Information et de Traitements Automatisés des Données Elémentaires sur les Logements locaux. Contient l'ensemble des opérations faisant l'objet d'un permis de construire collectées par les mairies, et les Directions Départementales de l'Equipement (DDE) ; état d'avancement (favorable, défavorable, sursis, chantier ouvert, terminé, annulé, sans suite, ou en cours), nature des travaux, localisation de la parcelle cadastrale à l'intérieur de la commune. L'hypothèse étant que la référence cadastrale est systématiquement renseignée ce qui permet d'associer à chaque objet géométrique « Parcelle Cadastrale » (BD PARCELLAIRE) des attributs descriptifs sur les permis de construire de SITADEL [SITADEL, 2008].

III.1.4.ii. Les données sur les risques naturels

L'autre partie des données à mobiliser concerne l'information géographique sur les risques naturels. Notamment dans les modèles décrits dans ce chapitre cela concerne exclusivement les inondations. Cela concerne aussi zonage réglementaire pour l'urbanisme au travers des PPR inondation.

- Les Atlas des Zones Inondables (AZI) : conformément à l'hypothèse 1 (cf. « Poser les Hypothèses »), en raison de l'hétérogénéité des données et de la variété des méthodes de modélisation des inondations, il a été décidé de s'appuyer uniquement sur les jeux de données issus de modélisations hydrogéomorphologiques avec pour chaque bassin versant étudié les classes de fréquence : « Très Fréquentes » représentant le lit mineur du cours d'eau étudié, « Fréquentes » pour le lit moyen, « Rares » pour le lit majeur et « Exceptionnelles » pour lit majeur exceptionnelle. Les AZI sont produits par les

DIREN et mis à disposition par le MEEDDAT au travers du site CARTORISQUES [CARTORISQUES, 2008].

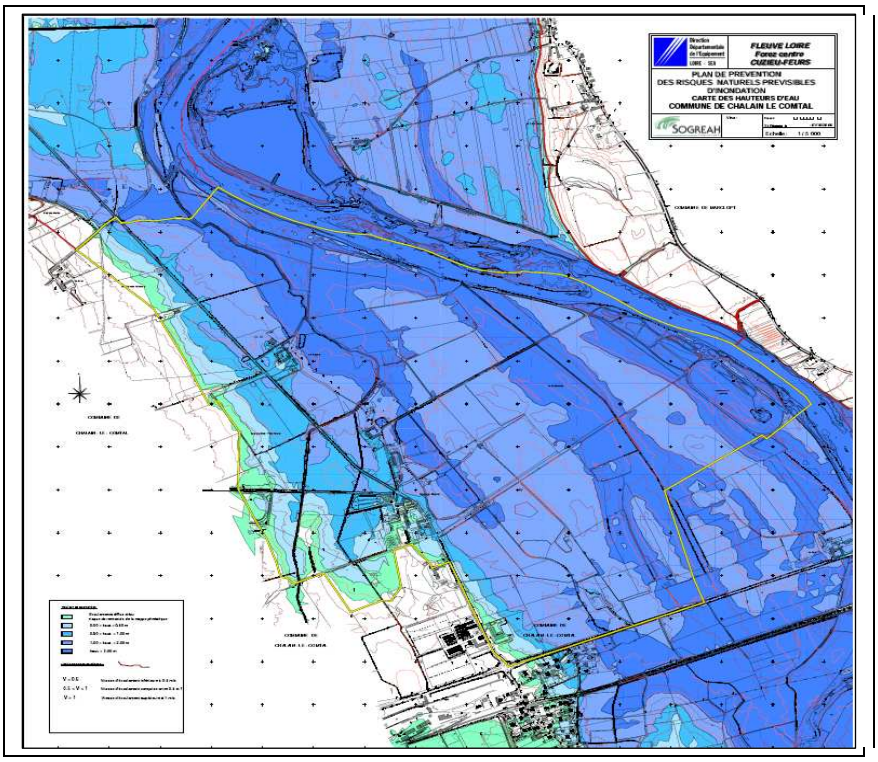


Figure 37 – Illustration d'un extrait d'Atlas de Zones Inondables reposant sur une approche Hydrogéomorphologique.

- Les Plans de Zonages Réglementaires numérisés : pour effectuer les traitements nécessaires à l'évaluation des risques le Plan de Zonage Réglementaire des PPR est l'instrument de référence. En raison de l'hétérogénéité des données liée d'une part aux différents choix de représentation et de mise en forme du plan de zonage par l'organisme maître d'œuvre dans chacune des communes concernées et d'autre part aux retards pris concernant la numérisation des plans à l'échelle de tout le territoire, l'hypothèse a été faite de considérer qu'un plan de zonage contient trois types de zones :
    - Zones Rouges pour l'interdiction de construire
    - Zones Bleues pour autoriser la construction sous certaines conditions
    - Zones Violettes ou Jaunes pour l'aggravation du risque

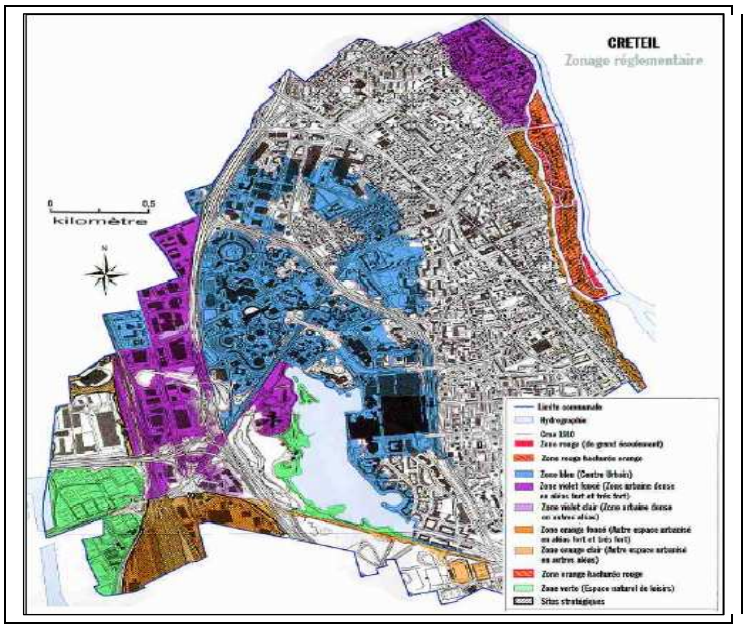


Figure 38 Illustration d'un extrait d'un plan de zonage réglementaire d'un PPR d'une commune à risque

- La base de données non géographique GASPAR du MEEDDAT : contient les données transactionnelles sur les procédures administratives sur les risques naturels par commune ; dates de publication des arrêtés Catnat, dates de prescription et d'approbation des PPR ainsi que les documents d'information préventive (DCS, DDRM, DICRIM). Les informations sont stockées dans une structure de données relationnelle pour chaque couple aléa-commune.

Comme le montre le schéma sur la démarche de modélisation, il y a un processus itératif entre les étapes 2), 3) et 4) pour s'assurer que les indicateurs sont conformes à des hypothèses réalistes et à des données potentiellement mobilisables dans la réalité opérationnelle. A la suite de ce processus itératif intervient un point de contrôle et de validation permettant de valider l'ensemble des indicateurs, des données mobilisables et des hypothèses de façon à pouvoir entamer le travail de conception finale du modèle spatial multidimensionnel.

Le tableau 6 présente une classification des sources de données mobilisées pour la construction du modèle sur l'évaluation de la pertinence et de l'efficacité des mesures préventives.

Type de données	Géographique	Source	Producteur	Contenu
Occupation du sol	Oui	BD Géofla	IGN	Contours administratifs
Occupation du sol	Oui	BD Profil Habitat	INSEE	Contours des îlots INSEE
Occupation du sol	Oui	BD Parcellaire	IGN	Contours des parcelles cadastrales
Occupation du sol	Non	BD SITADEL	DDE	Données sur les permis de construire
Risques naturels	Oui	AZI	DIREN	Cartographie des zones inondables
Risques naturels	Oui	Plans de Zonage PPR	DDE, Préfectures, DIREN	Zones réglementaires des communes à risque
Risques naturels	Non	GASPAR	MEEDDAT	Informations administratives sur les risques par commune et par aléa

Tableau 6 – Récapitulation des données mobilisées pour les modèles sur l'évaluation de la pertinence et de l'efficacité des mesures préventives

III.1.5. Etape 5 : Réaliser le modèle spatial multidimensionnel

Cette étape consiste à conceptualiser l'ensemble des éléments permettant de construire le Modèle Spatial Multidimensionnel (MSM) qui permettra d'alimenter la phase d'implémentation. Il s'agit de l'étape 5), ultime étape de la démarche de modélisation.

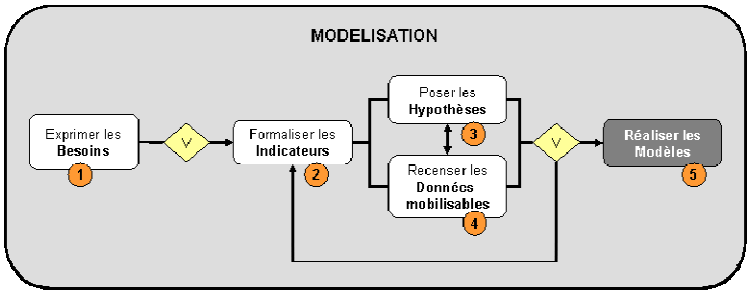


Figure 39 – Etape 5 « Réaliser le Modèle » de la démarche de modélisation

La « Réalisation du MSM » se décompose en trois sous étapes à savoir :

- **Sous étape 5a** : Identifier les « Dimensions » : il s'agit de formaliser les « Dimensions » suivant la typologie MSM :
  - « Dimensions Spatiales »
  - « Dimensions Opérateurs »
  - « Dimensions Temporelles »

- « Dimension Descriptives »

- **Sous étape 5b** : Identifier les « Mesures » : il s'agit de formaliser les « Mesures » suivant la typologie MSM :
  - « Mesures numériques »
  - « Mesures spatiales »
    - « Pointeurs spatiaux »
    - « Métriques »
    - « Objets géométriques »

- **Sous étape 5c** : Réaliser le Modèle Conceptuel de Données (MCD) et le Modèle Logique : il s'agit du modèle conceptuel de l'architecture de la structure MSM de stockage des données (« Cube ») avec le choix du modèle en étoile, en flocon ou en constellation.

La figure 41 récapitule les sous-étapes de la « Réalisation des Modèles ».

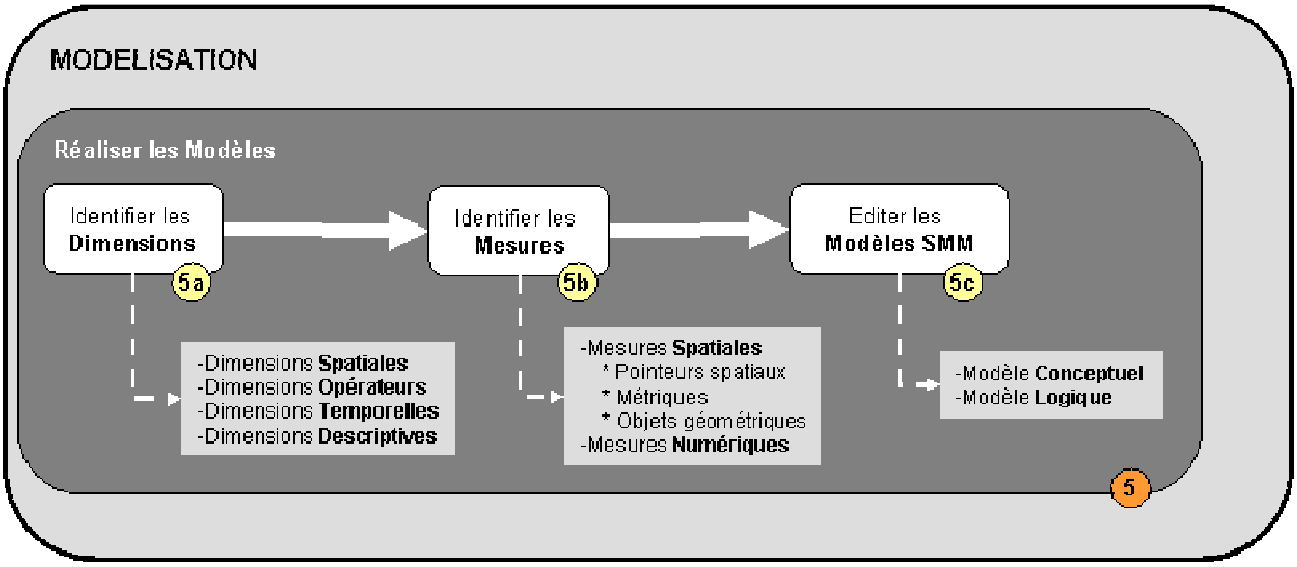


Figure 40 – Schéma illustrant les sous-étapes 5a, 5b, 5c, de l'étape 5 (« Réaliser les modèles ») de la démarche de modélisation

Concernant la sous étape 5a sur l' « Identification des Dimensions », une démarche propre à l'analyse des risques naturels est proposée. Cette démarche consiste à catégoriser les Dimensions par rapport à la perspective offerte dans le cadre plus globale de l'analyse des risques naturels. Cette démarche s'inspire de l'analyse de la vulnérabilité aux risques présentée dans le chapitre 1.

Les axes retenus sont :

- **La caractérisation de l'aléa (« Aléas »)** : qualification de l'aléa naturel étudié dans le modèle selon des critères spatio-temporels (ex : Classe de fréquence d'une inondation, intensité, durée de submersion, etc.)

- **La caractérisation des enjeux (« Enjeux »)** : segmentation des enjeux selon une typologie donnée (type d'habitation, type de construction, etc.)

- **La prévention (« Prévention »)** : degré d'avancement de la prévention dans la zone

- **La sinistralité (« Sinistralité »)** : historique des événements passés

- **La géographie (« Géographie »)** : hiérarchie(s) géographique(s) choisies spécifiquement pour étudier le phénomène du modèle

- **Le temps (« Temps »)** : hiérarchie temporelle pertinente pour l'analyse du phénomène

Cette classification des dimensions sera utilisée communément pour chacun des modèles présentés dans le manuscrit. Il est possible de construire une matrice de classification des « Dimensions » par type de dimension et par catégorie. Le tableau 7 présente la méthode de classification des « Dimensions » utilisée dans le cadre de la démarche de modélisation.

Catégorie	Spatiale	Opérateur	Descriptive	Temporelle
Aléas		Dimension1		
Enjeux	Dimension3		Dimension4	
Prévention			Dimension6	
Sinistralité			Dimension7	
Géographie	Dimension2			
Temps				Dimension5

Tableau 7 - Matrice de classification des Dimensions par catégorie spécifique aux risques naturels et par type de Dimension de la modélisation spatiale multidimensionnelle

Toutes les catégories ne sont pas systématiquement utilisées dans tous les modèles ; cela dépend des besoins exprimés pour l'analyse.

III.1.5.i. Transposition de la modélisation à l' « Evaluation de la Pertinence des mesures préventives »

L'objectif de ce modèle est d'apporter des réponses pour hiérarchiser les communes les plus en retard en terme de mesures préventives et étant potentiellement les plus exposées aux risques naturels.

Sous-étape 5a : Identification des Dimensions

Cette sous-étape sera structurée thématiquement suivant les catégories de la « Matrice de classification des dimensions ». Dans ce modèle toutes les catégories sont mobilisées (« Aléas », « Enjeux », « Prévention », « Sinistralité », « Géographie », « Temps »).

ALEAS

Concernant l'axe sur l'exposition à l'aléa on distingue uniquement une « Dimension Opérateur » permettant de proposer une analyse de l'exposition au regard des intersections avec les types de zone inondable.

- **Dimension Opérateur : « Intersection Inondation »**
  Cette « Dimension » est de type « Opérateur » car elle fait référence à des opérations topologiques. Elle permet d'étudier l'exposition selon les critères d'intersection avec les types zones inondables. Les zones inondables manipulées (approche hydrogéomorphologiques) sont géographiquement incluses les unes dans les autres : les zones de crue « Très Fréquentes » (Lit Mineur) sont incluses dans les « Fréquentes » (Lit Moyen) elles mêmes incluses dans « Rares » (Lit Majeur), elle-même incluses dans « Exceptionnelles » (Lit Majeur exceptionnel). Cela constitue la « Hiérarchie » de cette dimension permettant d'analyser les indicateurs selon les critères d'intersection avec chacune de ces zones. Cette « Dimension » comporte une « Hiérarchie » en quatre niveaux hiérarchiques :

Dimension Opérateur **Intersection Inondation**
Zones Exceptionnelles Zones Rares Zones Fréquentes Zones Très Fréquentes

ENJEUX

Pour qualifier les enjeux il a été choisi de se concentrer sur les Habitations.

- **Dimension Descriptive : « Habitat »**
  Cette « Dimension » est descriptive. Elle permet d'étudier les enjeux exposés à l'aléa inondation. Il s'agit de pouvoir analyser par type d'habitation. Pour cela on s'appuie sur la segmentation des données de la BD PROFILS HABITAT de l'INSEE. On distingue les logements particuliers (Individuels, Collectifs), les bâtiments professionnels et les entreprises. Cette « Dimension » comporte une « Hiérarchie » à trois niveaux :
  - Tous les types d'habitat
    - Groupement « Particuliers »
      - Type Habitat : « Particuliers individuels »
      - Type Habitat : « Particuliers collectifs
    - Groupement « Corporatifs »
      - Type Habitat : « Professionnels »
      - Type Habitat : « Entreprises »

Dimension Habitat
Tous les types d'Habitat Groupement Type Habitat

SINISTRALITE

Concernant l'axe de la sinistralité, il s'agit d'étudier la survenance d'événements passés. Les données disponibles sur ce point sont les arrêtés catastrophes naturelles publiés pour chaque commune. Ainsi une seule dimension est proposée :

- **Dimension descriptive : « Arrêtés Catnat »**
  Cette « Dimension » permet d'analyser des critères propres à la sinistralité vue sous l'angle de la survenance d'événements de catastrophes naturelles. Les données disponibles proviennent de la base GASPAR et sont organisées par Aléa et par Commune. L'étude de la publication au Journal Officiel sur la période des 5 dernières années et avant la période des 5 dernières années est pertinente pour calculer la modulation de franchise. Cette contrainte de durée sera appliquée à chaque membre de la « Dimension » temporelle de ce cube lors du calcul de chaque « Fait » ; l'analyse des 5 ans se fait à partir de l'année sélectionnée dans la « Dimension » Temps. Cette Dimension comporte une « Hiérarchie » à deux niveaux :
  - Tous les arrêtés catnat
    - Période catnat : « Durant les cinq dernières années »
    - Période catnat : « Avant les cinq années dernières années »

Dimension Arrêtés Catnat
Tous les arrêtés Période catnat

PREVENTION

Concernant l'avancement des mesures préventives, ce sont les dates d'avancement des PPR qui font office de référence. Il s'agit d'ajouter le critère d'analyse sur l'avancement du PPR d'une commune à savoir si celui-ci est absent, prescrit ou approuvé. Pour cet axe une seule dimension est proposée à savoir :

- **Dimension descriptive : « Avancement PPR »**
  Cette dimension permet d'analyser l'avancement des PPR c'est à dire de savoir si pour la commune une procédure a été engagée, s'il y a un PPR prescrit mais pas approuvé

ou bien si le PPR est approuvé. Cette information est contenue dans la base de données GASPAR avec l'organisation des données par Commune et par Aléa. Comme pour les arrêtés Catnat, la période des cinq ans est intéressante à analyser au regard de la modulation de franchise ; si dans les 5 dernières années il n'y a pas eu de PPR approuvé alors il est possible de moduler la franchise au regard du nombre d'arrêtés catnat pour la même période. Cette « Dimension » comporte une « Hiérarchie » à deux niveaux :

- Toutes les étapes PPR
  - Etape PPR : « procédure non engagée »
  - Etape PPR : « prescrit mais non approuvé »
  - Etape PPR : « approuvé depuis plus de cinq ans »
  - Etape PPR : « approuvé depuis moins de cinq ans »

Dimension **Avancement PPR**
Toutes les étapes PPR Etape PPR

GEOGRAPHIE

Concernant l'axe d'analyse géographique il est nécessaire de fixer le niveau de granularité géographique pour étudier le phénomène. Il a été choisi d'analyser l'avancement des mesures préventives selon l'angle des unités administratives. L'analyse de l'habitat se fait à l'échelle des îlots INSEE à l'intérieur des communes. Il s'agit donc du niveau le plus fin de la dimension.

- **Dimension spatiale : « Découpage Administratif »**
  Cette « Dimension » est structurée en « flocons » de façon à faire apparaître clairement la « Hiérarchie » administrative. A chaque membre de cette dimension est associé un objet géométrique (polygone). Ces objets sont extraits de la BD PROFILS de l'INSEE pour le niveau îlot, et de la base de données GEOFLA de l'IGN pour les objets géométriques commune, département, région. Cette « Dimension » comporte une hiérarchie à 5 niveaux :
  - France entière
    - Région
      - Département
        - Commune
          - Ilot Insee

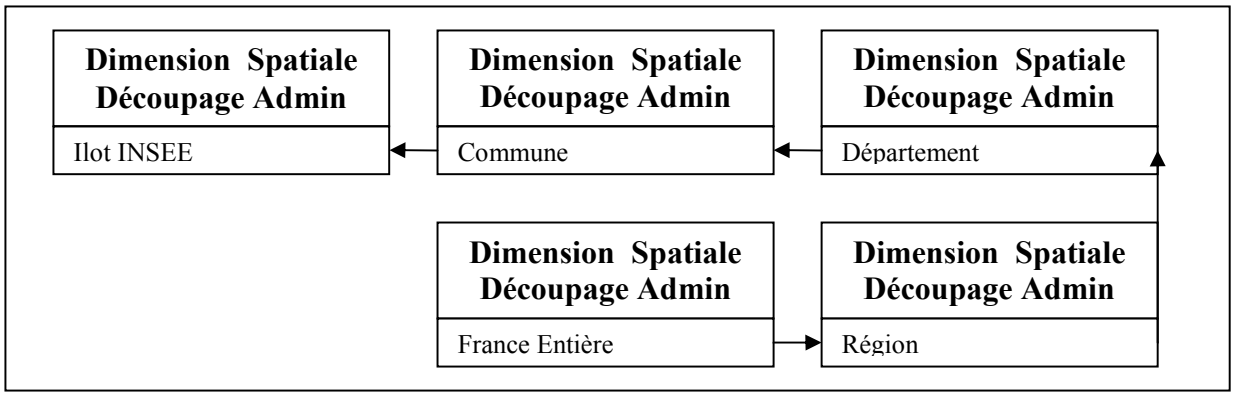


Figure 41 – Schéma de la Dimension Spatiale « Découpage Administratif »

TEMPS

Concernant l'axe d'analyse temporel il convient de définir la période d'analyse ainsi que le pas de temps (niveau le plus fin). L'analyse de l'avancement ne nécessite pas de comparer jour par jour, ni mois par mois. Il est donc pertinent de se focaliser sur les bilans annuels avec le niveau le plus détaillé à l'année. L'axe temporel se compose d'une seule dimension.

- **Dimension Temporelle : Période Analyse**
  Cette « Dimension » fixe le pas de temps de l'analyse. Il est nécessaire de pouvoir comparer l'évolution année par année mais aussi de pouvoir juger de l'évolution depuis le début du régime Catnat c'est-à-dire sur toute la période depuis 1982 jusqu'à aujourd'hui. Cette dimension se compose de deux niveaux hiérarchiques :

Dimension Temporelle **Période analyse**
Toute la période depuis 1982 Année

On obtient la « Matrice de classification des dimensions » suivante :

	Spatiale	Opérateur	Descriptive	Temporelle
Aléas		Intersection inondation		
Enjeux			Habitat	
Prévention			Avancement PPR	
Sinistralité			Arrêtés Catnat	
Géographie	Découpage administratif			
Temps				Période analyse

Tableau 8 - Matrice de classification des dimensions pour le modèle sur l'évaluation de la pertinence

Une fois cette identification des dimensions terminée, il convient maintenant d'identifier les « Mesures ». C'est l'objet de la sous-étape 5b.

Sous-étape 5b : Identification des Mesures

Cette sous-étape de l'étape « Réalisation des modèles » consiste à identifier les « Mesures » pertinentes pour l'analyse du phénomène en accord avec la « Formulation des Indicateurs » proposée en étape 2.

Chacune des « Mesures » identifiées sera calculée pour toutes les combinaisons possibles des « Membres » des « Dimensions » du modèle.

On distingue les « Mesures spatiales » et les « Mesures numériques ».

<u>Mesures Numériques</u>

Pour les « Mesures numériques » on identifie les valeurs suivantes pour chaque combinaison de « Dimension » possible :

- **Nombre d'îlots** : comptabilisation des îlots INSEE concernés (prend la valeur « 1 » si le niveau îlot est sélectionné dans la Dimension Géographie et si l'îlot correspond à la combinaison de Membres) ;

- **Nombre de communes** : comptabilisation des Communes concernées (prends la valeur « 1 » si le niveau îlot ou le niveau Commune est sélectionné dans la Dimension « Découpage Administratif » et si au moins un îlot répond à la combinaison de Membres)

- **Nombre d'habitats** : somme des proportions de logements des îlots INSEE intersectées par les types de Zones inondables.

- **Nombre d'arrêtés Catnat** : somme des arrêtés Catnat inondation pour la ou les communes concernées par les combinaisons de Membres.

Mesures Spatiales

- **Métrique Surfaces analysées** : somme des proportions d'îlots INSEE en Zone Inondable.

- **Portions inondables** : forme géométriques obtenues à partir de l'intersection des contours des îlots INSEE et des Zones Inondables.

La sous-étape suivante consiste à assembler tous les éléments à l'intérieur d'un Modèle unifié. C'est l'objet de la sous-étape 5c de la démarche de modélisation.

Sous-étape 5c : Editer les modèles

Cette sous-étape a pour objectif de concevoir le Modèle Conceptuel ainsi que le Modèle Logique selon la méthode MSM. Il s'agit des derniers éléments pour finaliser la Démarche de Modélisation et entamer la phase d'Implémentation. Etant donné que les deux modèles sont très proches dans l'approche MSM, uniquement le modèle logique sera ici présenté.

L'assemblage du modèle (cf. figure 43) se fait à partir des jointures de la table des « Faits » et des tables de « Dimensions ». Chaque « Membre » figurant dans une table de « Dimension » possède une clé d'identifiant unique. Cette clé permet de faire la jointure avec la table de « Faits ». Celle-ci contient l'ensemble des combinaisons de toutes les clés de « Dimension » et les valeurs des « Mesures » associées.

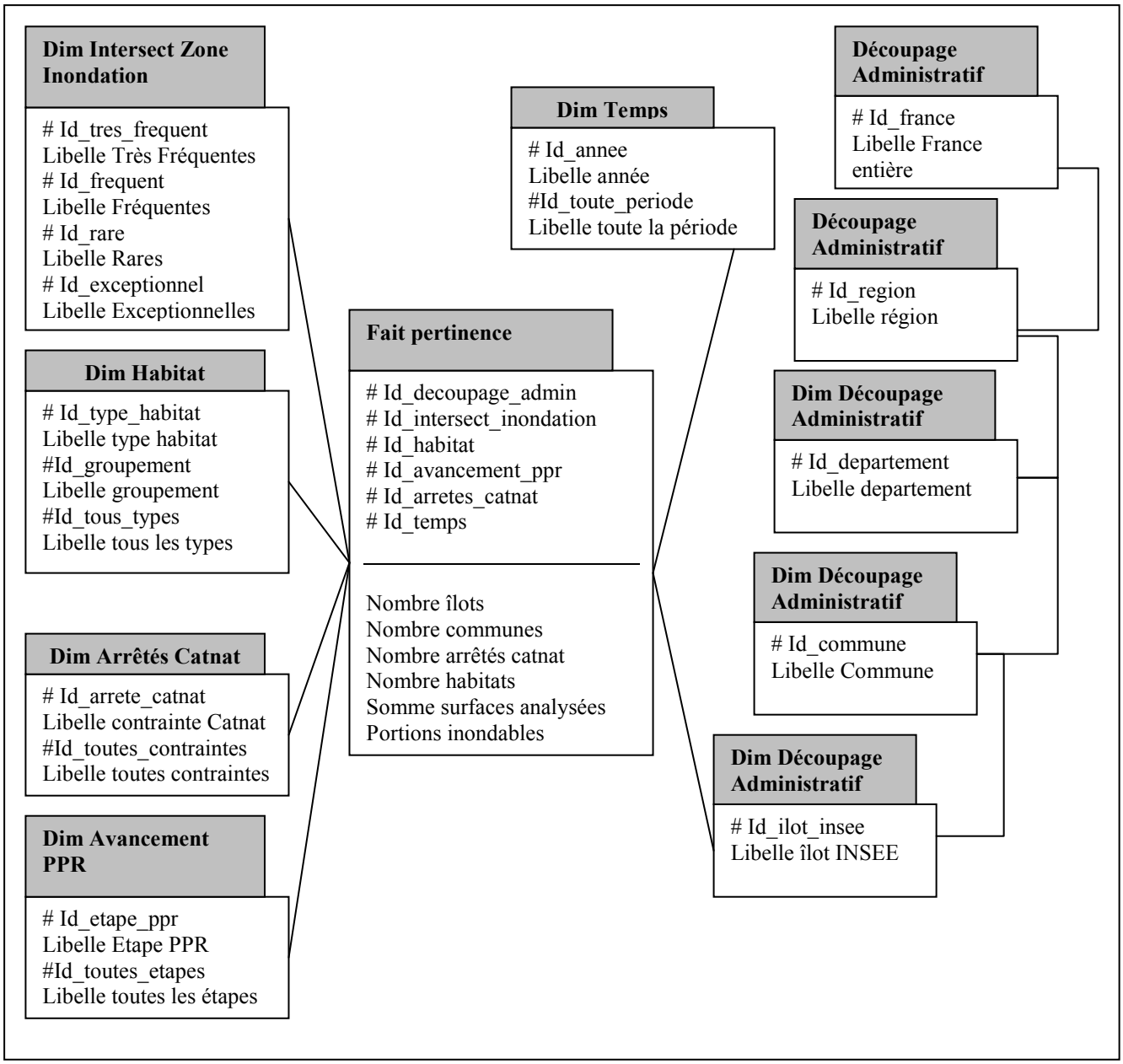


Figure 42 – Modèle Logique Spatial Multidimensionnel pour l'évaluation de la pertinence des mesures préventives

Un exemple d'enregistrement d'un « Fait » : Nombre d'habitats de type « Individuels » situés dans une Zone inondable de type « Exceptionnelle », dans des Communes avec un nombre d'« Arrêtés Catnat » supérieur à « 0 » dans les cinq dernières années, n'ayant pas de PPR à l' « Etape d'approbation » pour l'année « 2008 » et pour le département « Alpes Maritimes ».
L'ensemble de la démarche de modélisation a été effectué pour le cas de l' « Evaluation de la pertinence des mesures préventives ». Il convient maintenant d'illustrer comment cette méthode se décline pour l' « Evaluation de l'efficacité des mesures préventives ».

III.1.5.ii. Transposition à l'« Evaluation de l'Efficacité des mesures préventives »

L'objectif de ce modèle est de descendre à l'échelle infracommunale afin d'identifier les zones géographiques où le PPR est approuvé et de s'assurer que la réglementation est bien prise en compte au regard de la densité des constructions. Enfin il s'agit aussi d'analyser si le zonage réglementaire PPR a été réalisé en adéquation avec le niveau réel d'exposition à l'aléa.

Pour réaliser le modèle il convient de respecter la même méthode avec l'enchaînement des sous-étapes 5a, 5b, 5c.

Sous-étape 5a : Identifier les dimensions

Comme précédemment la méthode suit les catégories de la « Matrice de classification des dimensions ». Dans ce modèle la catégorie « Sinistralité » ne contient pas de dimension. Ainsi on retrouve les catégories suivantes : « Aléas », « Enjeux », « Prévention », « Géographie », « Temps ». Ci-dessous la classification obtenue pour le modèle.

<u>ALEAS</u>

On distingue une seule dimension identique à celle du modèle précédent pour qualifier les zones Inondables

- **Dimension Opérateur : « Intersection Inondation »**
  Cette dimension est strictement identique pour analyser les intersections avec les zones inondables.

<u>ENJEUX</u>

Pour qualifier les enjeux dans ce modèle on identifie deux « Dimensions descriptives » centrée sur les permis de construire et les types de construction associés.

- **Dimension descriptive : « Type Construction »**
  Cette Dimension permet d'étudier les types de constructions associés aux permis de construire. Il est possible d'en faire une typologie par matériau : « Maçonnerie », « Béton », « Brique », « Bois », etc. Cette information est contenue dans la BD SITADEL.
  Cette Dimension est composée d'une « Hiérarchie » à trois niveaux :

Dimension **Type Construction**
Tous les types Groupement construction Type Construction

- **Dimension descriptive : « Avancement Permis de Construire »**
  Cette Dimension permet d'analyser le phénomène selon l'étape d'avancement du permis de construire : « Mise en chantier », « Achevée », « Annulée ». Cette information figure dans la BD SITADEL.
  Cette Dimension est composée d'une « Hiérarchie » à deux niveaux :

Dimension **Avancement PC**
Toutes les étapes Etape PC

PREVENTION

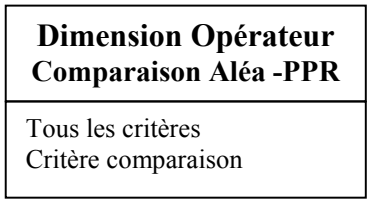
Pour le suivi suivant l'axe prévention, on dispose de deux « Dimensions Opérateur » pour intégrer l'analyse géographique autour des Zones réglementaires :

- **Dimension Opérateur : « Intersection Zone PPR»**
  Cette Dimension permet d'analyser le modèle par type de zone réglementaire. Au regard de l'hypothèse faite le zonage réglementaire est homogène selon la typologie suivante : « Zone Rouge » pour l'interdiction, « Zone Bleue » pour les prescriptions, « Autres zones » pour les zones d'aggravation. Ainsi les « Membres » de cette Dimension désigne l'intersection avec chaque type de zone : « Intersection Zone Rouge », « Intersection Zone Bleue », « Intersection Autres zones ». Cette Dimension est composée d'une Hiérarchie à deux niveaux :

Dimension Opérateur **Intersection Zone PPR**
Toutes les intersections Intersection Zone PPR

- **Dimension Opérateur : « Comparaison Aléa - PPR»**
  Cette Dimension permet d'analyser le modèle sur la qualité de la réalisation du Zonage Réglementaire au regard du Zonage de l'aléa. Il y a certaines zones géographiques pour lesquelles la Zone Réglementaire surestime, sous estime ou

équivaut aux Zones Inondables. Les membres de la Dimension sont les opérations de comparaison entre les deux types de zones : « Aléa > PPR », « Aléa = PPR », « Aléa < PPR ». Cette Dimension est composée d'une Hiérarchie à deux niveaux :



GEOGRAPHIE

La perspective géographique de l'analyse repose aussi sur un découpage administratif. Ce découpage est similaire à la dimension « Découpage Administratif » sauf que le niveau le plus détaillé est la « Parcelle Cadastrale » à la différence de l' « Ilot INSEE ». Les contours des parcelles cadastrales sont stockés dans la BD Parcellaire. Chaque parcelle référencée est associée à une Commune de la BD Geofla. On obtient le schéma suivant :

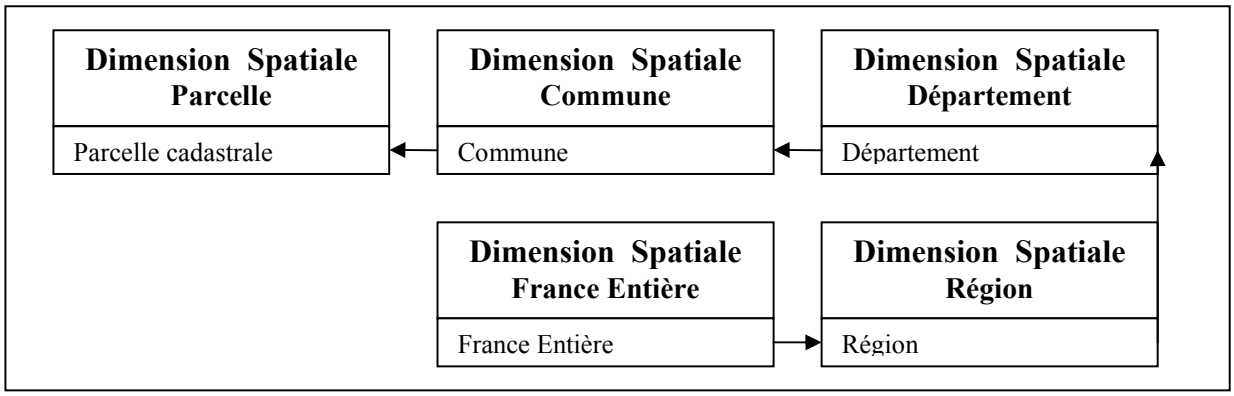
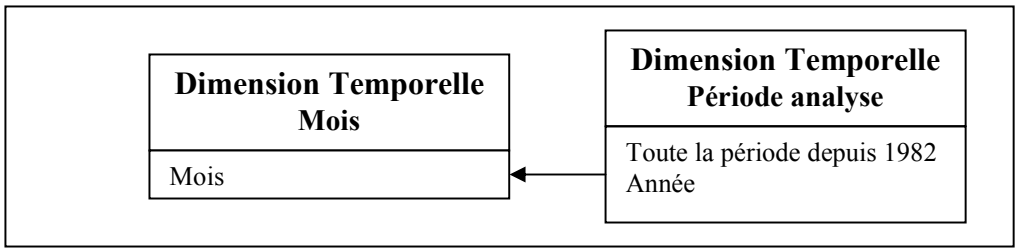


Figure 43 – Schéma de la Dimension Géographie du modèle de l'évaluation de l'efficacité des mesures préventives

TEMPS

Concernant la perspective temporelle de l'analyse, le niveau le plus fin serait le mois. En effet, la délivrance de permis d'autorisations de permis de construire est un phénomène continu, journalier. Il est pertinent de pouvoir constater la progression mois par mois et année par année. La période des années correspond à celle du modèle précédent à savoir depuis 1982 jusqu'à aujourd'hui. La « Dimension Temporelle » est conçue en flocons pour réutiliser la dimension « Période Analyse » précédente :



La « Matrice de classification des Dimensions » aurait la forme présentée dans la figure 45.

	Spatiale	Opérateur	Descriptive	Temporelle
Aléas		Intersection inondation		
Enjeux			Type Construction Avancement PC	
Prévention		Intersection Zone PPR Comparaison Aléa-PPR		
Sinistralité				
Géographie	Découpage administratif			
Temps				Période analyse

Figure 44 – Matrice de classification des Dimensions pour le modèle sur l' « Evaluation des mesures préventives »

Sous-étape 5b : Identifier les Mesures

Mesures Numériques

Pour les « Mesures numériques » on identifie les valeurs suivantes pour chaque combinaison possible de « Membres » des « Dimensions »:

- **Nombre de permis de construire** : comptabilisation des parcelles cadastrales et des permis de construire associés

Mesures Spatiales

- **Métrique Surfaces analysées** : somme des surface résultantes des combinaisons entre la Dimension Spatiale « Géographie » et les Dimensions Opérateurs « Comparaison Aléa –PPR », « Intersection Zone PPR » et « Intersection Inondation »

- **Pointeurs Surfaces analysées** : liste des pointeurs spatiaux vers les objets géométriques analysées (combinaison de Dimensions identique à la « Métrique sur les surfaces analysées »).

Mesures Calculées

- **Densité de constructions** : rapport fait entre le « Nombre de permis de construire » et la somme des « Surfaces Analysées » pour analyser la concentration de construction.

Sous-étape 5c : Réaliser les Modèles

Le modèle logique MSM pour l' « Evaluation de l'efficacité des mesures préventives » permettra de stocker les enregistrements de « Faits » du type : Nombre de Permis de construire ayant été « autorisé» en « Zone Rouge » et en zone inondable « Exceptionnelle » où l' « Aléa = PPR », pour l'année « 2008 » et pour la « France entière ».

Etant donné que certaines « Dimensions » sont communes aux deux modèles, il est possible de joindre les deux modèles logiques en un seul modèle avec deux tables de « Faits » différentes. Il s'agit d'un modèle dit « en constellation ».

Le modèle logique sur l'évaluation des mesures préventives repose sur une architecture en constellation résultant de la fusion des deux modèles (Pertinence et Efficacité). Le schéma est présenté figure 46.

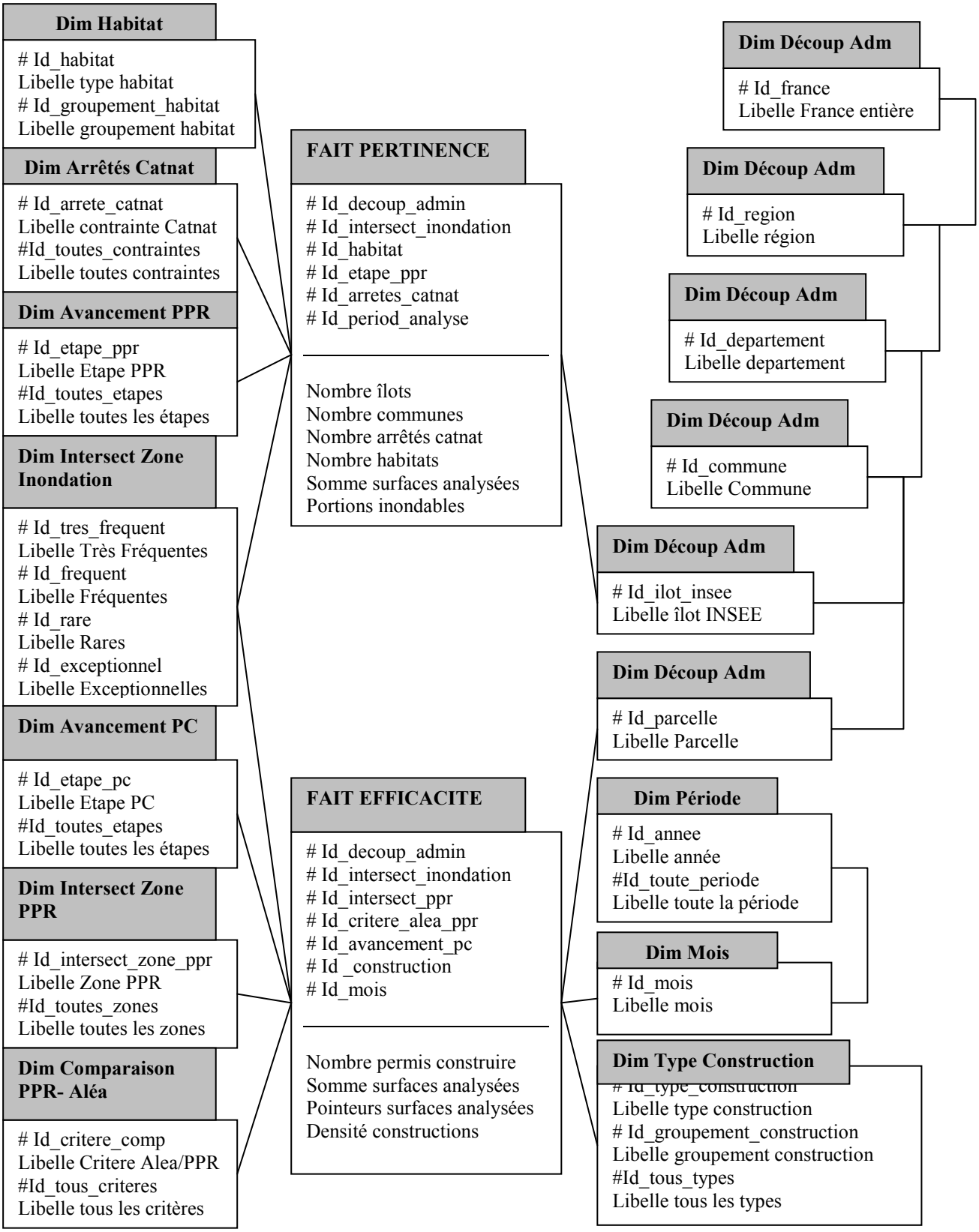


Figure 45 – Modèle logique spatial multidimensionnel sur l'Evaluation des mesures préventives

La démarche de modélisation a été appliquée aux besoins « collectifs ». Il convient désormais de montrer comment cette démarche s'applique pour les besoins « individuels » d'une société d'assurance souhaitant évaluer l'exposition financière de ses portefeuilles d'assurés face aux inondations. C'est l'objet du sous-chapitre suivant.

III.2. Cas d'étude sur l'exposition des portefeuilles d'assurés d'une société d'assurance

La démarche de modélisation proposée sur ce cas d'étude est identique à celle qui vient d'être appliquée aux cas sur l'évaluation des mesures préventives. Les éléments de description des besoins dits « individuels » d'une société d'assurance sont le résultat d'un certains nombre d'entretiens menés avec des professionnels de différentes sociétés d'assurance intervenant à différents postes opérationnels (souscription, réassurance, direction technique, gestion de sinistres). Par ailleurs des études menées par le CRC ont été une source d'inspiration pour capter les besoins. On peut citer notamment un travail mené sur trois années concernant l'évaluation des dommages sur le risque de rupture de barrage (étude CRC menée pour le compte de la MAIF). Un travail de master de recherche a aussi été réalisé par Arnaud Donguy, [Donguy, 2008] sur la modélisation des inondations et l'estimation des dommages sur le bassin versant du « Var » dans les Alpes Maritimes. Ces travaux font l'objet d'une thèse CIFRE CRC-AXA qui a débuté en janvier 2009 sur la modélisation du risque inondation sur les portefeuilles d'assurés d'AXA.

III.2.1. Etape 1 : Expression des besoins

Cette étape correspond à l'étape 1) de la démarche de modélisation ; l'expression des besoins rassemble les éléments permettant de formaliser les indicateurs pertinents pour le cas d'étude à analyser.

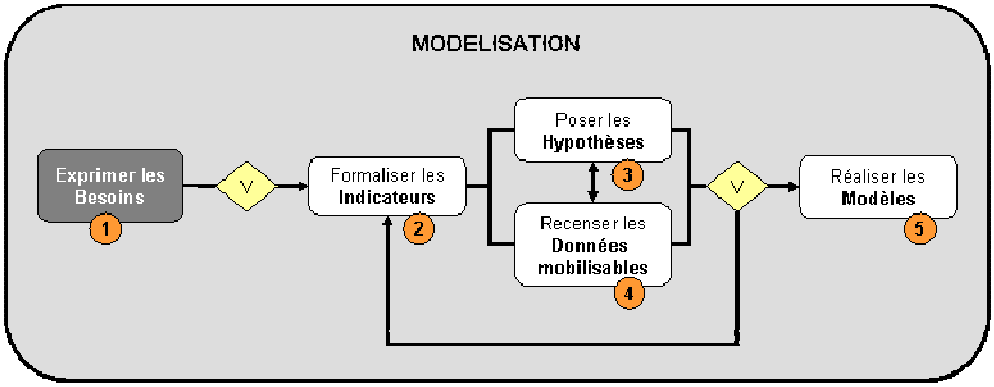


Figure 46 – Etape 1 « Exprimer les besoins » de la démarche de modélisation

III.2.1.i. Rappel sur les besoins individuels d'une société d'assurance

Comme cela a été abordé dans le chapitre 1, les sociétés d'assurance ont en interne des besoins opérationnels afin de maîtriser au mieux leurs propres expositions financières aux risques naturels. Dans le cas d'étude on se focalise uniquement sur l'aléa Inondation. Cette protection financière de la société d'assurance elle-même passe par deux axes majeurs :

- optimiser les processus métiers clés (processus de souscription, processus de gestion des sinistres).
- optimiser la couverture de réassurance pour assurer une marge de solvabilité suffisante.

Le premier axe est de pouvoir analyser l'exposition des assurés pour optimiser la politique de souscription. Cela passe par une analyse de la répartition géographique des portefeuilles à l'intérieur des bassins de risque (bassins versants pour l'inondation). Il sera important de pouvoir identifier s'il y a des concentrations d'assurés et de montants financiers dans des zones inondables. L'identification de ces éléments permet de tenter d'équilibrer la répartition des affaires nouvelles de façon à disperser les risques et ainsi éviter que ceux-ci soient sous la menace d'un même événement catastrophique. De même si on identifie qu'un gros risque financier, comme une entreprise ayant assuré un chiffre d'affaire important, est situé dans une zone inondable alors il faudra envisager de transférer une partie du risque soit via des mécanismes de coassurance (partage du risque avec d'autres sociétés d'assurance) soit via des mécanismes de réassurance. Pour ce qui concerne l'optimisation de la gestion des sinistres, l'identification des concentrations d'assurés en zone inondable permet de réajuster la géographie du réseau des experts à déployer en cas de sinistre mais aussi les ingénieurs préventionnistes afin de limiter les pertes financières des clients assurés.

Le second axe concerne l'évaluation de la couverture de réassurance : il s'agit pour une société d'assurance d'être capable de calculer de la façon la plus précise possible les scénarios de catastrophes naturelles pouvant engendrer des pertes financières pouvant menacer la marge de solvabilité de l'entreprise. L'évaluation au plus juste des pertes potentielles permettrait de ne pas surestimé ni sous-estimé la part de risque à transférer auprès des réassureurs (en l'occurrence la part de cession du risque se fait vers la CCR). Pour cela il est nécessaire d'estimer les dommages, c'est-à-dire de pouvoir à partir de scénarios de crue obtenir des caractéristiques sur l'aléa (hauteur d'eau, débit, etc.) permettant d'évaluer le niveau d'endommagement, et ce pour l'ensemble des portefeuilles d'assurés afin d'avoir une vision globale.

Ces besoins ne sont pas couverts en France pour des raisons structurelles de difficulté d'appropriation des méthodes, des données et des outils par les sociétés d'assurance. Les principaux facteurs sont :

- Les difficultés d'appropriation des données publiques issues des modélisations sur les risques naturels : hétérogénéité et accès multi-sites aux données, retard dans la numérisation.
- Le manque d'expérience des professionnels de l'assurance sur les modalités d'exploitation de l'information géographique sur les risques naturels : absence de

processus métier et informatique pour traiter l'information depuis l'acquisition jusqu'à la restitution aux utilisateurs.

- Le manque de connaissance des professionnels de l'assurance sur les caractéristiques des aléas naturels et en particulier des inondations.

III.2.1.ii. Les besoins fonctionnels

Bien que des solutions soient proposées par des prestataires externes (RMS, EQECAT, MRN) celles-ci n'offrent pas l'ensemble des réponses attendues pour une société qui a besoin de suivre à un niveau détaillé comme à un niveau de synthèse, des indicateurs couplant à la fois des données internes spécifiques à l'organisation de l'entreprise et des données externes sur les aléas naturels qui peuvent évoluer au cours du temps. Les indicateurs pertinents pour ce genre d'étude permettent de répondre à des questions du type :

- Quelles sont les zones comportant des cumuls d'engagements significatifs? Quels sont les types de biens concernés ? Il s'agit de pouvoir localiser les secteurs géographiques dans lesquels la société a une forte concentration de risques assurés exposés à un aléa naturel.
- Quels sont les dommages potentiels financiers sur des scénarios par bassin de risque, par fréquence de survenance ?
- Quelles sont les valeurs du Sinistre Maximum Possible (SMP) et du Sinistre Raisonnablement Escompté (SRE) par type de portefeuilles de la société ?

Pour répondre à ce type de questions, un modèle spatial multidimensionnel est proposé. L'étape suivante de la démarche de modélisation est la formalisation des indicateurs.

III.2.2. Etape 2 : Formaliser les Indicateurs

Cette étape correspond à l'étape 2) de la démarche de modélisation ; la formalisation des indicateurs identifie les valeurs que l'on souhaite suivre.

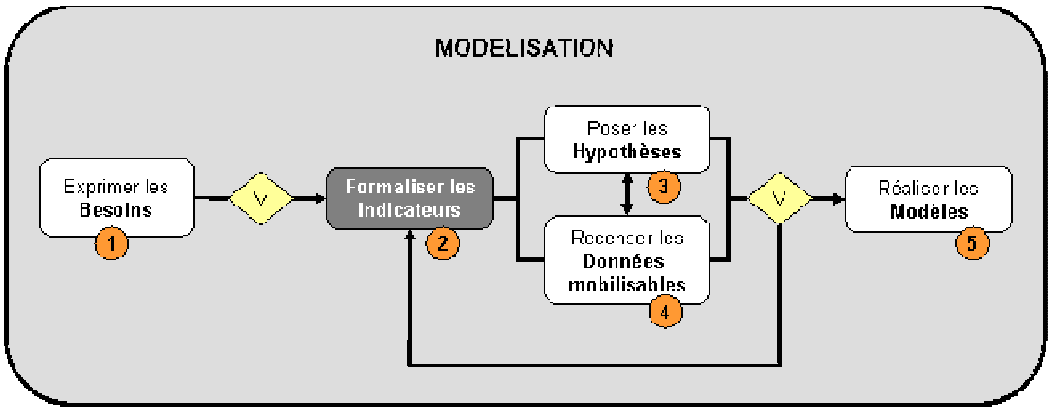


Figure 47 - Etape 2 « Formaliser les indicateurs » de la démarche de modélisation

L'objectif est de suivre l'exposition des portefeuilles de la branche dommage aux biens d'une société d'assurance (mutuelle ou entreprise).

L'évaluation des dommages potentiels doit se faire en accord avec la segmentation des portefeuilles de contrats d'assurance dommages multirisques :

- Les habitations des particuliers (Multirisques Habitation - MRH)
- Les entreprises (Multirisques Entreprise - MRE)
- Les sites industriels (Multirisques Industriel - MRI)
- Les professionnels (Multirisques Professionnel - MRP)
- Les collectivités locales (Multirisques Collectivité - MRC)
- Les terrains agricoles (Multirisques Agricole - MRA)

Ce sont les lieux de risque contenus dans chaque contrat d'assurance qui doivent être évalués. Les contrats peuvent être mono-sites ou multi-sites (un lieu de risque ou plusieurs lieux de risque par contrat). A chaque contrat correspond une adresse de souscription et à chaque site ou lieu de risque du contrat correspond une adresse de risque. Pour chaque adresse de risque on a un ou plusieurs objets de risque assurés. Les dommages doivent être calculés en fonction du type de construction et/ou du type de biens contenus dans chaque contrat auquel on peut associer des valeurs financières (valeur du bâti, des machines, des stocks, des marchandises, du mobilier).

Du fait du trop petit nombre d'événements catastrophiques dans les séries, les indicateurs ne sont pas facilement probabilisables. Alors que les agences de modélisation comme RMS, EQECAT, utilisent des moteurs stochastiques pour simuler des événements, l'approche privilégiée est plutôt une approche déterministe consistant à sélectionner un certains nombres d'événements significatifs. Pour les inondations cela consiste à générer des événements par périodes de retour : pour chaque bassin versant on simule un ensemble de crues en choisissant un ensemble de périodes de retour (1/20, 1/50, 1/100, 1/200, 1/500). Pour chaque simulation il est possible de calculer les caractéristiques spatiales et l'intensité de l'aléa ce qui permet d'en déduire les dommages potentiels.

Les dommages sont à mettre en corrélation avec des indicateurs techniques liés aux conditions d'assurance et à l'historique des événements de chaque contrat. C'est le cas du ratio S/P qui fait le rapport entre le montant des sinistres avec montant des primes acquises[6] aux contrats. Ce ratio doit être calculé à un niveau agrégé : à l'échelle de l'ensemble des portefeuilles. Pour qu'il y ait un équilibre il faut que ce rapport soit égal à 100%. Lorsqu'il les dépasse, c'est que les primes perçues sont insuffisantes pour couvrir la totalité des provisions du coût des sinistres. Ainsi il est pertinent de pouvoir identifier clairement les zones géographiques pour lesquelles le ratio est supérieur à 100%. Pour cette problématique il est intéressant de pouvoir suivre l'évolution de la répartition géographique des portefeuilles au regard de l'exposition et d'étudier les corrélations entre les dommages potentiels, les sinistres passés, les montants des primes acquises et les provisions techniques réalisées. L'étude par

[6] On verra par la suite que les montants des primes peut être décomposé proportionnellement aux biens contenus dans chaque contrat d'assurance (ex : la prime du mobilier d'une habitation est un pourcentage de la prime globale du contrat MRH)

période de retour pour un ou plusieurs bassins versants, à l'échelle d'un ou plusieurs types de portefeuille. La comparaison doit pouvoir se faire aussi par type de biens assurés pour savoir quels sont les objets de risques les plus vulnérables.

Le tableau 9 récapitule les différents critères et variables à analyser pour répondre aux besoins.

Critères d'évaluation des portefeuilles	Variable associée
Localisation des cumuls de lieux de risque engageant des montants financiers importants	Localisation des concentrations de plusieurs lieux de risques dans une même zone inondable ou bien un lieu de risque ayant un montant financier important.
Evaluation du montant des dommages potentiels par scénario de crue	Somme des montants de dommages au regard de la valeur des biens par scénario de crue simulé. A un scénario correspond une période de retour
Evaluation du ratio S/P	Rapport entre la somme des montants des sinistres passés et des primes acquises
Segmentation suivant l'organisation de l'entreprise : type de portefeuille (MRH, MRE, etc.), type de bien assuré (stock, bâtiment, mobilier, etc.), sectorisation géographique de l'entreprise	Calculs des montants par type de portefeuille, par type de bien et par secteur géographique
Vue de synthèse sur l'ensemble de la France, sur l'ensemble des portefeuilles	Agrégation pour consolider une vue globale de l'exposition financière des engagements
Comparaison dans le temps et dans l'espace des indicateurs	Comptabilisation des indicateurs par année ou sur une période d'analyse pour comparer la situation dans le temps

Tableau 9 - Tableau de synthèse des indicateurs pour l'évaluation des portefeuilles d'assurés face aux inondations

Pour parvenir à consolider ces indicateurs il convient de formuler un certain nombre d'hypothèses. C'est l'objet de l'étape 3) de la démarche de modélisation.

III.2.3. Etape 3 : Poser les Hypothèses

Cette étape correspond à l'étape 3) de la démarche de modélisation. A partir des indicateurs formulés il est nécessaire de poser un certain nombre d'hypothèses essentiellement sur le sujet de la disponibilité et de la qualité des données pour bâtir de modèle spatial multidimensionnel. Cette étape est couplée avec l'étape 4) sur le « Recensement des données mobilisables » pour les modèles.

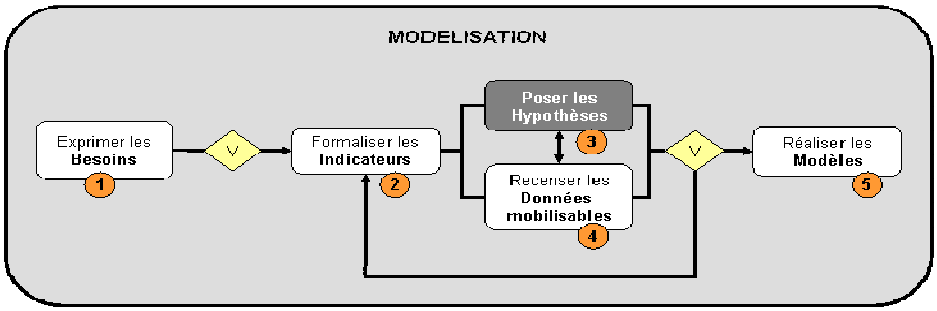


Figure 48 – Etape 3 « Poser les hypothèses » de la démarche de modélisation

Si l'on veut être capable de proposer un modèle satisfaisant il est nécessaire de formuler certaines hypothèses notamment sur les données permettant de réaliser les calculs d'exposition et l'estimation des dommages potentiels.

Concernant les données sur les inondations, on considère que pour chaque bassin versant on dispose des zones inondables résultantes des modélisations hydrologiques-hydrauliques (contrairement à l'approche hydrogéomorphologique du modèle précédent). Pour simuler les scénarios d'inondation, on se focalisera plus particulièrement sur ensemble défini de périodes de retour à savoir : Très Fréquent (1/20 ans), Fréquent (1/50 ans), Rare (1/100 ans) et Exceptionnel (au-delà 1/200 ans). Alors que pour les modèles précédents on se contentait des polygones des zones inondables, ce modèle repose sur un maillage géographique plus précis de chaque bassin versant afin de disposer de paramètres permettant de quantifier et de qualifier l'intensité de l'aléa. Ce travail de modélisation par maille géographique sur un bassin versant est le résultat de traitements informatiques effectués à partir d'une analyse détaillée de chaque cours d'eau principal, d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) d'une précision suffisante (50m) et de données issues de stations de mesures pluviométriques (paramètre en entrée de la modélisation hydraulique). Dans le rapport [Donguy, 2008] des cas d'étude ont été réalisé par le CRC à l'aide des logiciels hydrauliques HEC-RAS et HEC-HM ainsi que du MNT fourni par la NASA et les données pluviométriques fournies par Météo France.

Hypothèse 1
L'hypothèse est de considérer que pour chaque bassin versant du territoire national on dispose de ce niveau de maillage et pour chaque période de retour la modélisation est capable de fournir la hauteur d'eau, la vitesse d'écoulement voir même la durée de submersion.

Les autres hypothèses reposent sur la structuration des données à l'intérieur du système d'information d'une société d'assurance. Il est nécessaire de considérer que les données numériques stockées dans le système d'information sont fiables et suffisamment détaillées pour l'ensemble des portefeuilles pour pouvoir évaluer les montants financiers, les contrats d'assurance, les sinistres mais aussi pour pouvoir géolocaliser les biens.

Hypothèse 2
Les adresses de risque contenues dans les contrats d'assurance sont fiables. Une adresse de risque correspond à un site assuré au titre d'un contrat d'assurance dommage. On considère qu'une adresse de risque est fiable à partir du moment où un processus de Restructuration, Normalisation, Validation Postale (RNVP) a été mis en place dans l'entreprise. Une adresse de risque fiable permet par la suite de pouvoir géocoder et donc de pouvoir l'analyser géographiquement la répartition des portefeuilles.

Hypothèse 3
Le système d'information contient les données sur les objets de risque permettant d'en extraire une typologie homogène, ainsi que les valeurs financières associées : coût de construction pour les bâtiments, valeurs d'achat pour les marchandises, coûts de production pour les stocks, etc.).

Hypothèse 4
Les montants financiers associés à chaque objet de risque sont récupérables à partir du système d'information opérationnel de la société d'assurance; pour chaque objet de risque étudié il doit être possible systématiquement d'y associer un montant de prime, un montant de sinistre, une limite financière. Ces évaluations reposent sur des règles proportionnelles par rapport aux montants globaux des primes et des sinistres par contrat.

Le calcul de l'endommagement ne peut se faire sans utiliser un référentiel d'endommagement. Ce référentiel regroupe un ensemble de courbes d'endommagement permettant à partir de chaque niveau d'intensité d'aléa d'en déduire pour chaque type de bien le taux d'endommagement ; par exemple une hauteur d'eau de 2m et une vitesse d'écoulement de 3m/s sur un bâtiment en maçonnerie provoquera un endommagement de 80%.

Ces courbes sont réalisées à partir de retours d'expérience et d'étude techniques sur les sinistres passés aussi bien sur les types de construction que sur les types de stocks ou encore sur l'activité des entreprises.

Hypothèse 5
Les courbes d'endommagement sont disponibles pour l'aléa inondation pour chaque type de bien étudié. Pour chaque type de bien et pour chaque niveau d'intensité de l'inondation (hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, durée de submersion) il est possible d'obtenir un pourcentage d'endommagement.

Après avoir posé les hypothèses il convient de recenser les données mobilisables pour consolider les indicateurs.

III.2.4. Etape 4 : Recenser les données mobilisables

Cette étape vise à recenser l'ensemble des données mobilisables permettant de consolider les indicateurs du modèle.

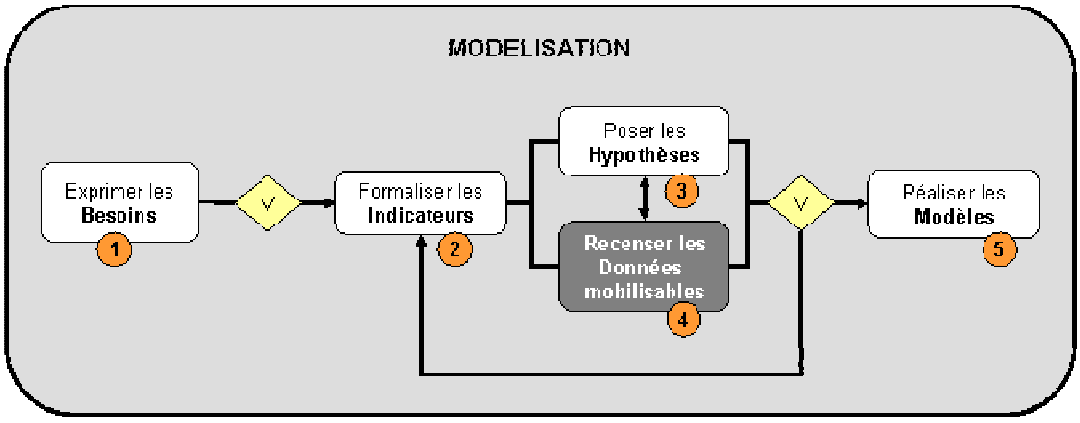


Figure 49 – Etape 4 « Recenser les données mobilisables » de la démarche de modélisation

On distingue deux types de données à mobiliser :

- les données provenant du système d'information opérationnel de la société d'assurance étudiée.
- les données issues des modélisations hydrauliques sur les inondations.

III.2.4.i. Les données opérationnelles d'une société d'assurance

Le système d'information d'une société d'assurance est constitué d'un ensemble complexe de bases de données distinctes avec deux grands domaines fonctionnels que sont :

- La gestion des contrats : les limites financières des contrats, les garanties, les éléments descriptifs des objets de risques, les règlements des primes et des cotisations, les devis et les informations recueillies au moment de la souscription.
- La gestion des sinistres : les déclarations, les rapports d'expertises et les résultats des missions des réparateurs, les règlements associés et les garanties sinistrées (c'est-à-dire les garanties acquises au contrat et faisant l'objet du sinistre).

A partir de la compréhension du fonctionnement de la gestion des contrats et des sinistres, l'auteur propose un modèle conceptuel de données fictif générique d'une société d'assurance dommage aux biens. Le modèle proposé décrit le niveau le plus fin de données stockées dans un système d'information d'assurance en partant de l'hypothèse que les données sont renseignées jusqu'à ce niveau de détail à partir de toutes les sources documentaires telles que les rapports d'expertises, les ordres de missions pour les prestataires en charge de la réparation, mais aussi l'ensemble des informations saisies par les gestionnaires au moment de la souscription d'une part et au moment de la déclaration du sinistre d'autre part.

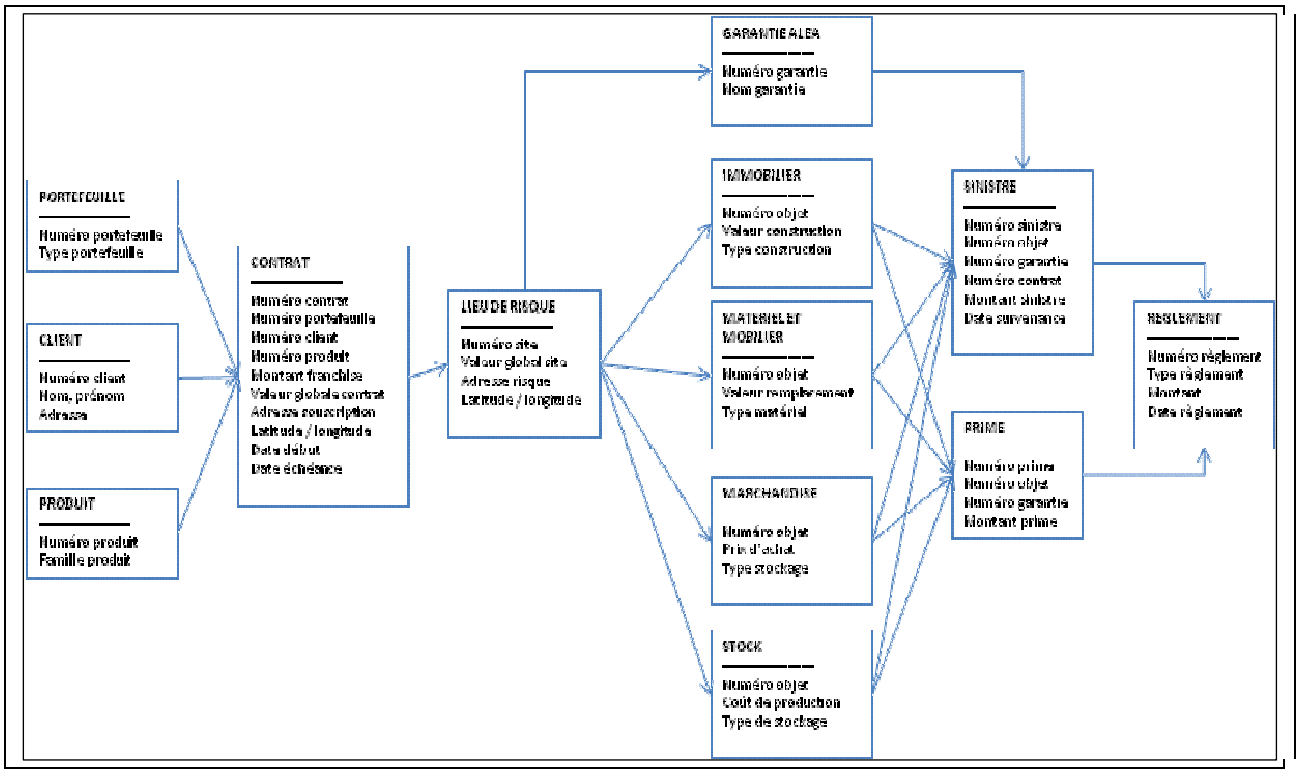


Figure 50 – Modèle conceptuel du système d'information opérationnel d'une société d'assurance dommage

III.2.4.ii. Les données sur les inondations

Les simulations hydrauliques sur les inondations se font en accord avec les hypothèses formulées dans l'étape 4). Pour se faire il est nécessaire de mobiliser un certain nombre de sources de données :

- **Modèle Numérique de Terrain (MNT)** : Le MNT est, comme son nom l'indique, une représentation numérique de terrain en fonction de l'altitude et consiste à fournir des informations sur la forme ainsi que sur la position d'une zone géographique délimitée par rapport à la surface topographique. Un MNT consiste en un modèle distribué d'altitude qui attribue à chaque point des valeurs par interpolation et extrapolation à partir des valeurs connues des points les plus proches. La qualité de la représentation d'un MNT est tributaire de la distance minimum entre ces deux points d'altitude et, cette distance détermine la notion de résolution. Un exemple de MNT est la BD Alti de l'IGN dont la résolution est le pas de 50m [Alti, 2008]

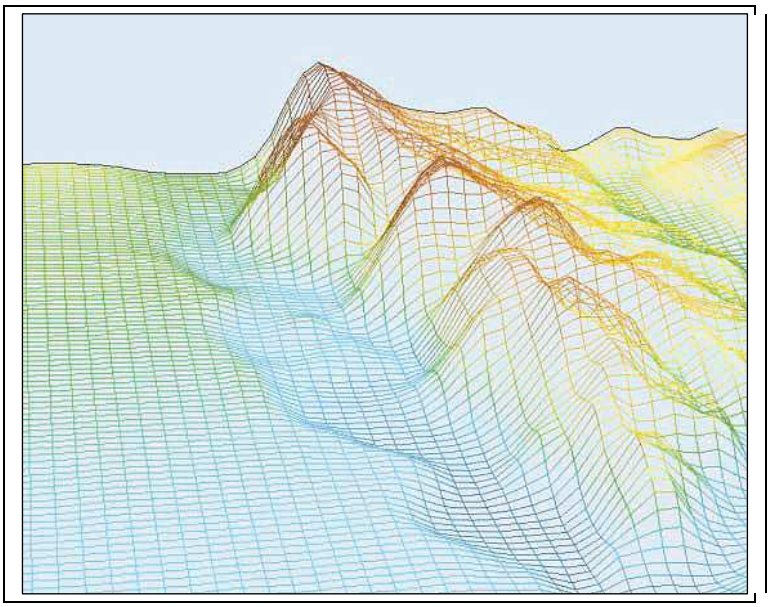


Figure 51 – Illustration de la BD Alti de l'IGN avec un pas de résolution de 50m

La caractérisation des inondations mobilise des résultats obtenus à partir de l'utilisation de logiciel de simulations hydrauliques-hydrologiques, L'outil de simulation utilisé au CRC est le logiciel HEC-RAS [Donguy, 2008] :

- **Modélisation HEC-RAS et HEC-FM** : Le système de modélisation HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System) est développé par le corps d'ingénieurs de l'armée américaine au centre des technologies hydrauliques. HEC-RAS est un logiciel capable de modéliser différents types d'écoulements (fluvial, torrentiel ou mixte) à travers différents systèmes hydrographiques (naturels ou artificiels) et de calculer les profils des eaux de surface. Ce logiciel trouve de nombreuses applications dans le domaine de la gestion des crues. En plus de ces applications générales, HEC-RAS peut être utilisé dans les étapes de conception de ponts, de digues, de barrages et d'aménagements des cours d'eau pour analyser lors des études de faisabilité l'influence des changements physiques sur l'écoulement du cours d'eau en périodes d'étiages ou de crues.

  Les modélisations s'appuient sur le découpage hydrographique de la BD CARTHAGE contenant tout les cours d'eau des bassins versants du territoire français [CARTHAGE, 2008]. Ainsi pour chaque période de retour on est capable de simuler la crue sur le MNT afin d'en extraire les hauteurs d'eau et les vitesses d'écoulement pour chaque maille

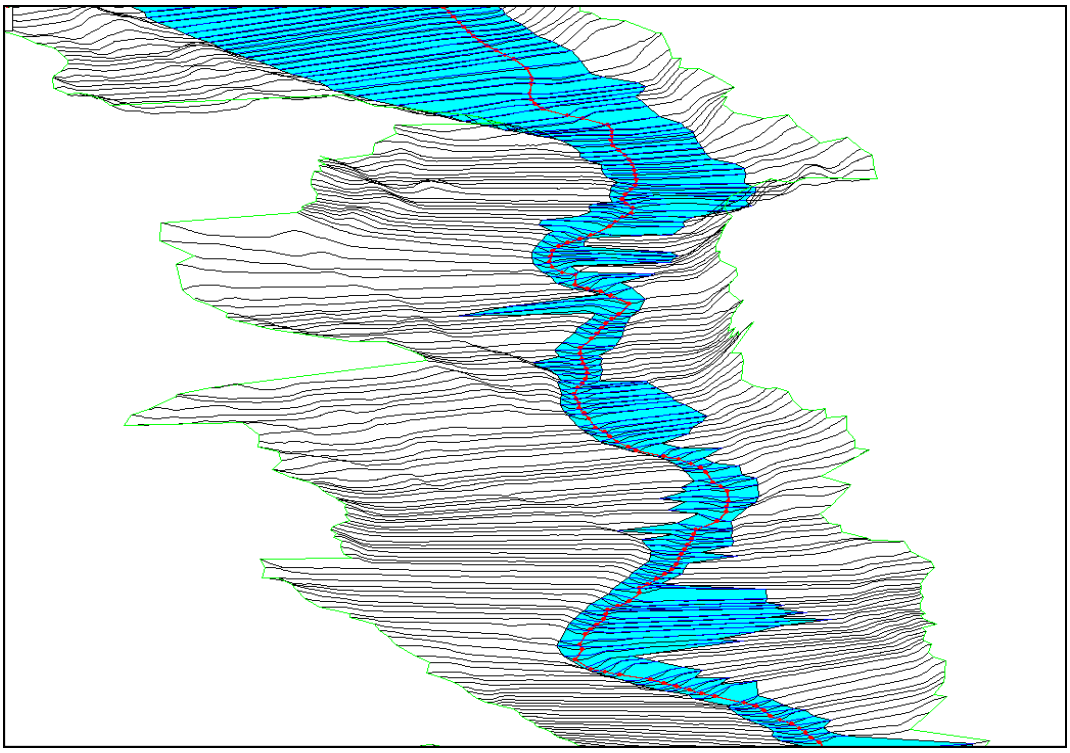


Figure 52 – Illustration du résultat d'une simulation avec HEC-RAS

Le tableau 10 récapitule les données mobilisées pour le modèle de l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés.

Type de données	Géographique	Source	Producteur	Contenu
Assurance	Oui et non	Système d'information d'une compagnie d'assurance	Société d'assurance	Contrats, Sinistres, Garanties, Lieux de risque, Portefeuille, Client, etc.
Territoire	Oui	BD Alti	IGN	Modèle Numérique de Terrain
Inondation	Oui	CARTHAGE	IFEN	Contours des bassins versants hydrographiques
Inondation	Oui	HEC-RAS, HEC-FM	NASA	Logiciel de modélisation hydrauliques et hydrologiques

Tableau 10 - Récapitulation des données mobilisées pour les modèles sur l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés

L'étape suivante consiste de la démarche de modélisation consiste à réaliser le modèle spatial multidimensionnel pour alimenter la phase d'implémentation.

III.2.5. Etape 5 : Réaliser le modèle spatial multidimensionnel

Cette étape se décompose en un lot de trois sous étapes illustrées par le schéma suivant :

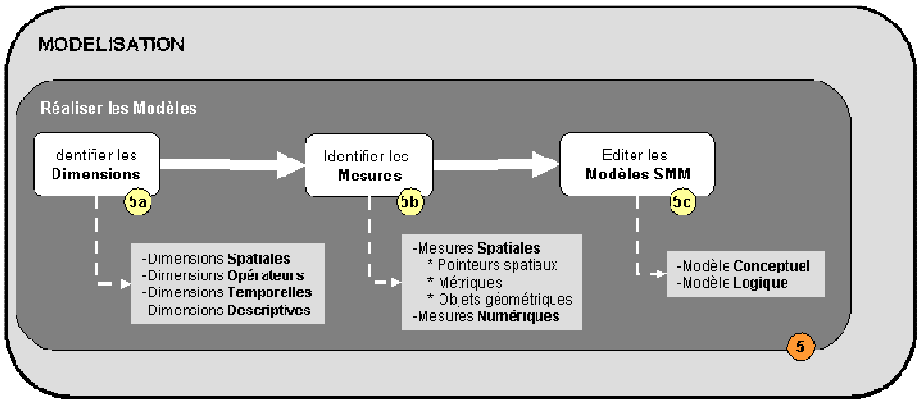


Figure 53 - Etape 5a : Identification des dimensions

Cette étape sera structurée selon la « Matrice de classification des dimensions ». Les catégories suivantes sont mobilisées pour classifier les Dimensions de ce modèle : « Aléas », « Enjeux », « Géographie », « Temps ».

<u>ALEAS</u>

La caractérisation de l'aléa inondation se fait via une « Dimension Opérateur » pour se référer aux relations topologiques avec les différents scénarios de crue par période de retour

- **Dimension Opérateur : « Intersection Inondation »**
  Les zones inondables résultant des simulations par période de retour sont incluses les unes dans les autres de la période de retour la plus élevée à la plus faible : les zones de la période de retour « 1/20 » sont incluses dans celles de la période de retour « 1/50 », et ainsi de suite jusqu'à « 1/200 ». Ainsi cette Dimension Opérateur est composée d'une hiérarchie à 4 niveaux :

Dimension Opérateur **Intersection Inondation**
Zones Période 1/200 Zones Période 1/100 Zones Période 1/50 Zones Période 1/20

ENJEUX

La caractérisation des enjeux se fait au travers de la structuration des portefeuilles et de la typologie des objets de risque.

- **Dimension descriptive « Portefeuille »**
  Cette dimension contient l'ensemble des types de portefeuilles de la société. Cette dimension n'est pas une dimension géographique mais elle fait référence à un ensemble de lieux de risques qui seront traitées sous forme de mesures spatiales. Cette Dimension se compose d'une Hiérarchie en trois niveaux :
  - Tous les portefeuilles
    - Type MRH (Multirisques Habitations des particuliers)
    - Type MRP (Multirisques Professionnels)
    - Type MRP (Multirisques Industriels)
    - Type MRE (Multirisques Entreprises)

Dimension Portefeuille
Tous les types portefeuille Type portefeuille

- **Dimension descriptive « Typologie des biens »**
  Cette Dimension contient l'ensemble des critères permettant d'analyser les dommages aux biens. Cela permet de sélectionner un ou plusieurs types de biens sur une zone géographique donnée pour analyser les coûts des dommages potentiels, les coûts des sinistres passés. La sélection peut être affinée jusqu'à la précision du type de construction, du type de stock ou de marchandise et peut être agrégé afin de calculer des montants globaux. La Dimension se compose d'une Hiérarchie en trois niveaux :
  - Tous les types de biens
    - Type de biens : type de construction, stock, marchandise, mobilier.
      - Détail du type de bien : maçonnerie, béton, bois, marchandises de produits finis, semi-finis, stock papier, électronique, etc.

Dimension Type de Bien
Tous les types de biens Type de biens Détail type de biens

GEOGRAPHIE

La géographie de l'analyse repose sur plusieurs Hiérarchies possibles : la décomposition du territoire par Bassin Versant, la décomposition selon la sectorisation géographique propre à la société d'assurance (Découpage Assurance)

- **Dimension Spatiale « Bassin Versant »**
  Cette Dimension contient le découpage des Bassins Versants suivant la Hiérarchie proposée par la BD CARTHAGE : Région hydrographique, Secteur Hydrographique pour bassin versant. Cette Dimension est structurée en flocon avec une Hiérarchie à 3 niveaux :

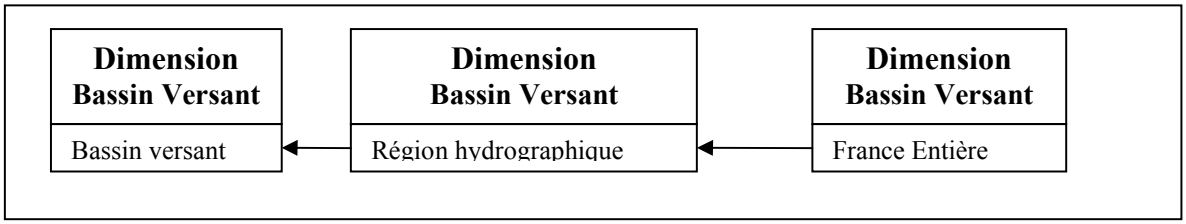


Figure 54 – Schéma de la Dimension « Bassin Versant »

- **Dimension Spatiale « Découpage Assurance »**
  Cette Dimension contient un découpage fictif par « Région Assurance », « Secteur assurance » et Commune en fonction de l'organisation interne de la société d'assurance.

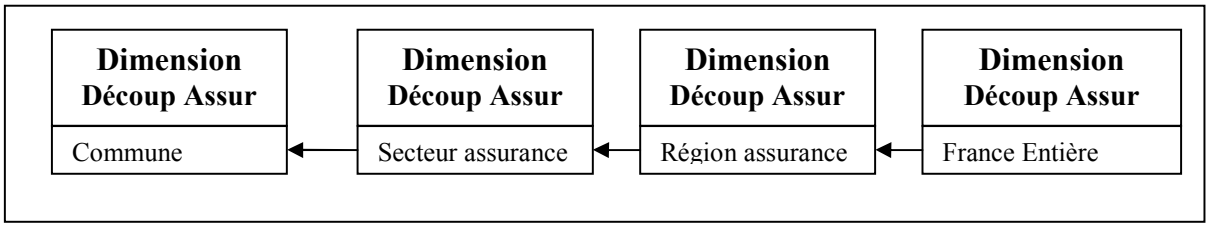


Figure 55 – Schéma de la Dimension « Découpage Assurance »

TEMPS

Concernant l'axe temporel de l'analyse, le niveau le plus fin est l'année. Il peut être utile d'agréger les résultats sur l'ensemble de la période depuis 1982 (début du régime catnat).

- **Dimension Temporelle « Période Analyse »**
  Cette Dimension définie le pas de temps de l'analyse.
  La Dimension comporte une Hiérarchie à 2 niveaux

Dimension Période Analyse
Toute la période Année

La « Matrice de classification des dimensions » est la suivante :

	Spatiale	Opérateur	Descriptive	Temporelle
Aléas		Intersection inondation		
Enjeux			Portefeuille Type de bien	
Prévention				
Sinistralité				
Géographie	Bassin versant Découpage Assurance			
Temps				Période analyse

Tableau 11 – Matrice de classification des dimensions pour le modèle de l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés.

Il convient maintenant d'identifier les Mesures.

Sous-étape 5b : Identifier les Mesures

L'identification des Mesures reposent comme pour les modèles précédents sur les mesures préventives par l'identification des Mesures numériques, spatiales et calculées.

<u>Mesures Numériques</u>

Pour les « Mesures numériques » on identifie les valeurs suivantes pour chaque combinaison de « Dimension » possible :

- **Nombre de lieux de risque** : il s'agit du nombre de lieux risques exposés correspondant aux critères sélectionnés dans chacune des dimensions

- **Montant des sinistres passés** : il s'agit de la somme des montants des sinistres passés pour les lieux de risques ayant été sélectionnés suite à la combinaison de dimensions

- **Montant des primes perçues** : il s'agit du montant des primes perçues relatives aux lieux de risque

- **Montant de la valeur des biens** : il s'agit du montant de la valeur des biens assurés sur les contrats pour les lieux de risques résultants de la combinaison des dimensions.

- **Montants des dommages potentiels** : à partir du ou des scénarios de crue sélectionnés alors il est possible, pour la typologie de bien sélectionné et pour les lieux de risques sélectionnés, d'estimer les dommages potentiels ; via les courbes d'endommagement par rapport au type de bien exposé.

Mesures Spatiales

- **Pointeurs vers les lieux des risques** : il s'agit d'une mesure spatiale contenant la liste des pointeurs vers chaque lieu de risque représenté soit par un point soit par un polygone si l'on souhaite représenter le bâti.

Mesures Calculées

- **Rapport sinistre/prime** : il s'agit d'une mesure calculée en faisant le rapport du montant des sinistres sur le montant des primes pour les lieux de risques considérés

L'étape suivante de la modélisation consiste à Editer les modèles SMM.

Sous-étape 5c : Editer les Modèles

Le modèle logique résultant de cette modélisation est schématisé dans la figure 57.

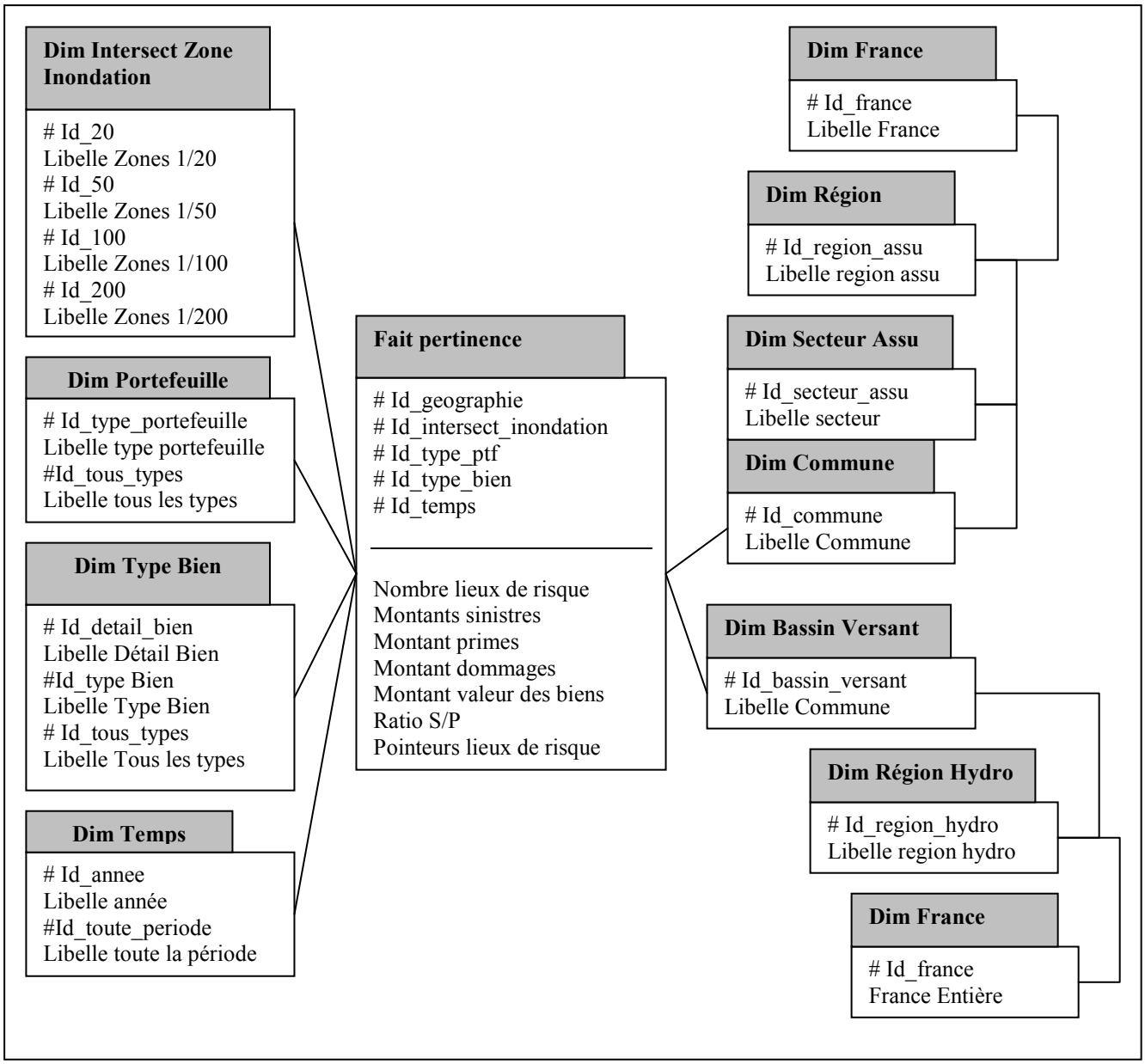


Figure 56 – Schéma du modèle spatial multidimensionnel pour l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés

III.3. Conclusion du chapitre

Ce chapitre a permis de détailler les étapes de la démarche de Modélisation du travail de thèse. Cette méthode a pour but de construire des modèles spatiaux multidimensionnels dédiés à la problématique de l'assurance des risques naturels. La méthodologie tente de s'assurer que les modèles conçus répondent au mieux aux besoins exprimés par les professionnels de l'assurance.

L'illustration de la méthode est présentée autour de deux cas d'étude : un cas d'étude sur l'évaluation de la Pertinence et de l'Efficacité des mesures préventives (répondant aux besoins « collectifs ») et un cas d'étude sur l'évaluation de l'exposition aux inondations des portefeuilles d'assurés d'une compagnie d'assurance (répondant aux besoins « individuels »).

La première étape d'expression des besoins permet de recenser et de formaliser les questions auxquelles les utilisateurs finaux souhaitent obtenir des réponses précises nécessaires à la prise de décision.

La deuxième étape de formalisation des indicateurs consiste à partir des questions précises posées d'identifier les critères et les variables dont il est nécessaire de suivre les valeurs pour répondre aux besoins d'analyse. Les deux étapes suivantes sont centrées sur les données à mobiliser pour consolider le modèle.

L'étape des hypothèses (étape 3) est alimentée par l'étude des limites des données recensées dans l'étape 4. En effet au stade de l'expérimentation, la réalisation de la modélisation nécessite de s'affranchir de certaines limites liées à la qualité des données manipulées (fiabilité, complétude, précision, etc.) en considérant que le meilleur niveau de qualité connu est applicable pour l'ensemble des données de même nature. Cette étape propose de formaliser un certain nombre d'hypothèses. Cela concerne pour l'essentiel l'hétérogénéité des données : hétérogénéité des méthodes de modélisation des AZI, hétérogénéité de la typologie des Plans de Zonages Réglementaires des PPR, absence de références cadastrale dans la base SITADEL pour faire la jointure avec la BD Parcellaire. Les hypothèses reposent sur des orientations plausibles sur la structuration futures de ces données puisqu'elles tiennent compte des recommandations faites à l'échelle nationale et européenne.

L'étape de réalisation des modèles reprend les concepts présentés dans le chapitre II de la modélisation spatiale multidimensionnelle avec en plus un effort de catégorisation selon un ensemble de thèmes propres à la gestion des risques naturels (Aléas, Enjeux, Sinistralité, Prévention, Géographie, Temps). On a vu que l'ensemble des concepts ont été utilisés pour concevoir le modèle spatial multidimensionnel de chaque cas d'étude ; Dimensions descriptives, Dimensions spatiales, Dimensions opérateurs, Dimensions temporelles, Mesures numériques, Mesures spatiales, Mesures calculées. Les deux modèles sur l'évaluation de la pertinence et de l'efficacité ont été regroupés dans un seul modèle en constellation. La méthode de modélisation a pu être transposée pour chaque cas d'étude choisi pour répondre aux besoins « collectifs » et « individuels ».

Le modèle spatial multidimensionnel constitue l'élément charnière fondamental de la construction d'une application géodécisionnelle. La phase suivante consiste à réaliser la partie informatique désignée par le terme « Implémentation ». Cela regroupe l'ensemble des étapes depuis l'extraction jusqu'à la restitution dans une interface de type géodécisionnelle. L'objet du prochain chapitre est de présenter le détail des étapes de la phase d' « Implémentation ». Les résultats présentés sont obtenus à partir de travaux d'ingénierie informatiques réalisés autour de la technologie JMAP-SOLAP.

CHAPITRE IV.
DEMARCHE D'IMPLEMENTATION DE PROTOTYPES GEODECISIONNELS APPLIQUES A LA PROBLEMATIQUE

Ce chapitre a pour objet de présenter la démarche d' « Implémentation » de prototypes géodécisionnels exploratoires conçus et développés dans le cadre de la problématique. Cette phase fait suite à la phase de « Modélisation » présentée dans le chapitre précédent. A partir des modèles conceptuels et logiques de données obtenus suite à la démarche de modélisation spatiale multidimensionnelle, il est possible de mettre en place une chaîne de traitements et d'ingénierie pour construire un prototype géodécisionnel.

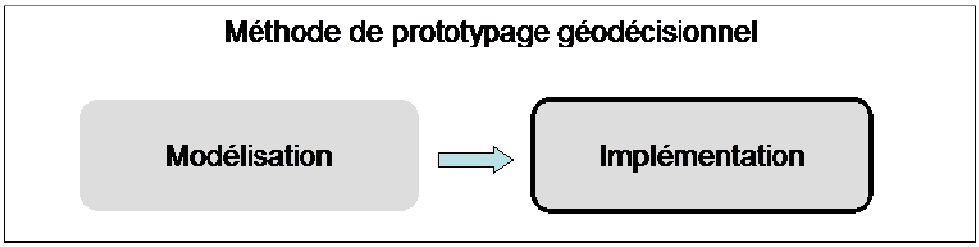


Figure 57 – Positionnement de la phase d'Implémentation dans la démarche globale de prototypage

L'objectif de ces traitements est d'aboutir à la réalisation de premiers prototypes autour des cas d'étude modélisés dans le chapitre précédent. Tandis que la méthode de modélisation permet de s'assurer que les « Dimensions »1 s'accordent bien avec la représentation mentale que se fait l'utilisateur du problème, l'interface de restitution géodécisionnelle doit garantir à l'utilisateur final qu'il pourra facilement explorer les indicateurs sur ces différents axes et ce sur plusieurs supports d'analyses possibles : graphiques, tableaux mais aussi et surtout cartographies.

Les prototypes SOLAP ont été réalisés autours des modèles logiques décrits dans le chapitre précédent à savoir l' « Evaluation de la Pertinence des mesures préventives », l' « Evaluation de l'Efficacité des mesures préventives » et enfin l' « Evaluation de l'exposition financière des portefeuilles d'assurés. ». Il est important de préciser que les Cubes de données n'ont été que partiellement remplis au cours du travail de thèse pour des raisons de temps de traitement lourds et de manque d'outils adaptés à ces traitements au stade de la réflexion. Ceux-ci méritent d'être enrichis et améliorés dans la continuité du travail de thèse (point évoqué dans le chapitre de Conclusion). Pour pallier à ce manque dans la démonstration, l'auteur présente des illustrations des prototypes réalisés en ajoutant des exemples de navigation possibles dans les même Cubes SOLAP complètement remplis sur tout le territoire national.

La démarche d' « Implémentation » proposée se décompose en trois étapes :

1) **« S'approprier la technologie »** : cette phase consiste à s'approprier la technologie géodécisionnelle choisie pour concevoir les prototypes. Dans le cadre de la thèse, le choix s'est porté sur JMAP-SOLAP ; le fonctionnement de cette technologie sera décrit au cours de ce chapitre.

2) **« Réaliser les traitements »** : cette phase consiste à mettre en place la chaîne d'ingénierie de traitements informatiques permettant de charger la structure de données spatiale multidimensionnelle (« Cube » de données). Ces traitements correspondent à ceux exécutés par les outils ETL (Extract, Transform, Load) dans l'informatique décisionnelle. Ces structures de données sont l'implémentation physique des modèles logiques présentés dans le chapitre III. Etant donné que la technologie choisie est SOLAP, on parle dans ce chapitre de « Cube SOLAP »

3) **« Restituer les résultats»** : cette étape consiste à paramétrer l'interface de restitution pour permettre une exploration et une analyse efficace des indicateurs stockés dans le « Cube » SOLAP. Le paramétrage se fait à la fois par l'administrateur depuis la console web d'administration de JMAP-SOLAP et par l'utilisateur lui-même depuis l'interface web de restitution.

La figure 59 montre les étapes principales de la démarche.

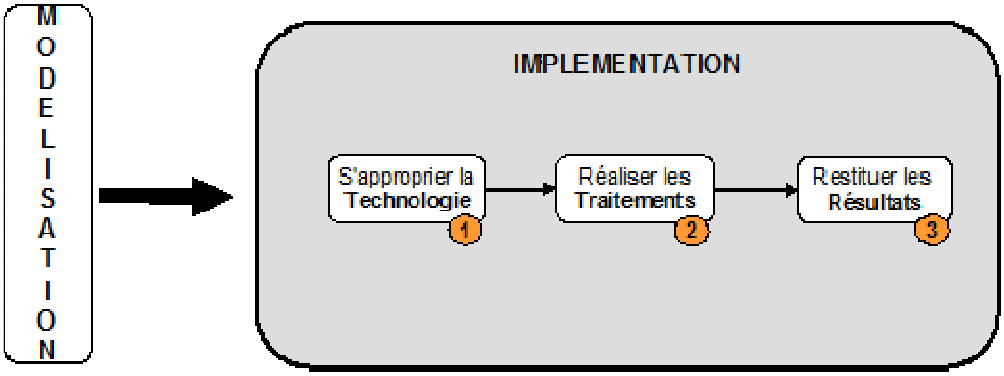


Figure 58 – Schéma des étapes de la démarche d'Implémentation

Ce chapitre s'attache à présenter la démarche d'implémentation à partir d'illustrations des travaux d'ingénierie menés autour des cas d'étude.

- La première partie présente l'étape d' « Appropriation technologique » de la technologie géodécisionnelle JMAP-SOLAP codéveloppé par le CRG et la société Kheops. Un partenariat avec le CRC a pu faciliter l'acquisition de licences et d'assistance tout au long du travail de thèse. L'architecture technique et applicative est décrite.

- La deuxième partie présente l'étape de « Réalisation des traitements » permettant de charger les données dans les « Cubes SOLAP ». Ces traitements sont le résultat d'opérations combinées de type requêtes topologiques, requêtes SQL de bases de données et opérations mathématiques. On présente l'architecture de la chaîne de traitements mise en œuvre pour parvenir à restituer les indicateurs à l'utilisateur final. Des exemples de traitements réalisés autour de chaque modèle viennent illustrer cette partie.

- La troisième partie présente l'étape de « Paramétrage » et de « Restitution » à partir des extraits de résultats obtenus sur des portions de territoire pour chacun des cas d'étude. Des exemples de navigation possibles au travers de l'interface SOLAP sont décrits pour donner un aperçu du potentiel en termes d'analyse et d'exploration des indicateurs. On montre les actions concrètes possibles à partir des combinaisons de vues cartographiques, graphiques et tabulaires de chaque problématique.

IV.1. Appropriation technologique de JMAP-SPATIAL OLAP

L'outil JMAP-SOLAP permet de configurer des interfaces utilisateurs à partir des connexions faites sur des structures de données Spatiales Multidimensionnelles appelées couramment des cubes. La plateforme JMAP-SOLAP permet de publier en ligne des projets ou interfaces SOLAP pour explorer les Mesures, Faits et Dimensions à partir de cartes, tableaux et graphiques.

Le choix s'est porté sur cette technologie car il s'agit d'un outil résultant d'un travail de recherche et d'expertise effectué depuis 1997 au Centre de Recherche en Géomatique : le produit fait l'objet d'un processus d'amélioration continue via de nombreuses itérations entre les utilisateurs opérationnels (pour l'essentiel issus des ministères du Québec au Canada) et les ingénieurs de recherche, informaticiens et géomaticiens des équipes spécialisées du CRG.

Les principaux atouts de cette technologie résident :

- dans sa capacité à intégrer facilement des données géographiques et non géographiques compatibles avec la plupart des formats du marché : fichiers vectoriels, rasters, bases de données spatiales, bases de données relationnelles;

- dans sa capacité à paramétrer l'ensemble des données dans un environnement Internet interactif : toutes les configurations se font depuis une console d'administration web sans avoir à utiliser de langage de programmation;

- dans sa souplesse d'interface utilisateur pour explorer les modèles spatiaux multidimensionnels : l'interface permet de naviguer dans les données grâce à des opérateurs de type SIG, des opérateurs spécifiques de type SOLAP, des opérateurs de navigation temporelle, des générateurs de combinaisons thématiques d'états cartographiques, graphiques et tabulaires.

De nombreux projets témoignent de la diversité des champs d'application possibles de SOLAP. On distingue notamment des applications dans le domaine de la santé pour le suivi du virus du Nil Occidental [Gosselin et al., 2005], dans le domaine des transports pour l'analyse des transports de matières dangereuses sur les tronçons routiers [Rivest et al. 2005], dans le domaine des risques concernant l'analyse de l'érosion des berges [Ms Hugh et al., 2005] ou encore dans le domaine du sport pour l'analyse en temps réel de la performance des sportifs de haut niveaux [Veilleux et al., 2004].

La figure 60 situe l'étape d'appropriation technologique à l'intérieur de la Démarche d'Implémentation.

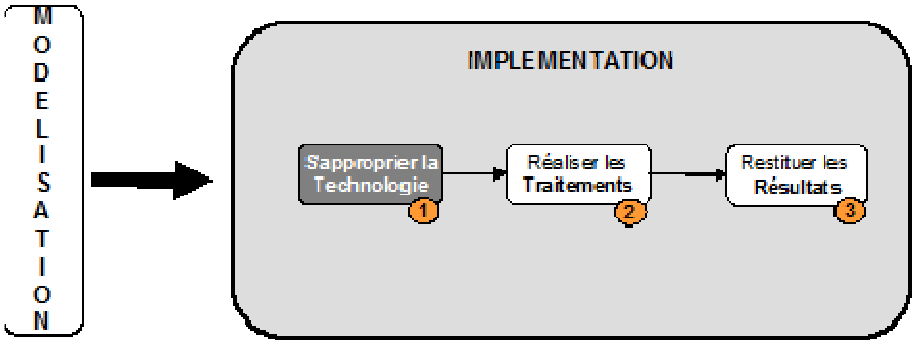


Figure 59 – Etape d'appropriation technologique dans la démarche d'Implémentation

IV.1.1. Architecture de jmap-solap

IV.1.1.i. Description générale

La version de l'outil SOLAP utilisée dans la thèse a été développée comme une extension du logiciel de cartographie en ligne JMAP (conçu et commercialisé par la société Kheops Technology). La réalisation de l'extension SOLAP résulte du partenariat technologique entre le CRG en charge de la conception fonctionnelle, technique et de la réalisation informatique du produit et Kheops en charge d'assurer la commercialisation et le support auprès des clients. SOLAP a été intégré au sein de l'outil JMAP sous forme d'une extension. Ainsi il est utile d'expliquer le fonctionnement général de JMAP et son architecture.

Architecture technique de JMAP

L'installation de SOLAP nécessite d'avoir au préalable installé le logiciel JMAP. Celui-ci repose sur un serveur applicatif JAVA. Un serveur web y est intégré de façon à donner la possibilité de déployer les applications clientes sur des navigateurs Internet. Tous les modules d'administration et les applications sont accessibles via un navigateur web. JMAP a été conçu pour publier des applications exploitant des données géographiques et non géographiques dans un ensemble cohérent pour les utilisateurs visés. Il est possible de paramétrer la sémiologie des couches d'informations géographiques le gestionnaire des styles (contours,

trame de fond, transparence, etc.), l'arborescence logique des couches d'informations, la gestion des attributs des objets géométriques et la jointure avec des attributs externes ou encore les niveaux de zoom pour l'affichage de chaque couche. Afin de rendre encore plus interactif l'interface des extensions ont été développées pour réaliser en ligne des opérations topologiques (extractions d'objets géométriques, intersections, inclusions), configurer des moteurs de géocodage (interrogation de référentiels routiers à partir d'une ou plusieurs adresses pour obtenir les coordonnées géographiques) ou encore pour intégrer des éléments multimédia aux objets géométriques tels que des images, des liens URL vers des pages Internet ou des applications externes.

L'intégration de SOLAP dans la technologie JMAP permet aux utilisateurs finaux de bénéficier de tous les avantages technologiques liés à la publication web d'applications cartographiques. JMAP est relativement transversal car compatible avec les principaux formats standards SIG disponibles sur le marché aussi bien vectoriel (shape, midmif, dwg, dxf) que raster (tiff, géotiff) ou encore des bases de données spatiales comme ORACLE Spatial mais aussi la compatibilité aux standards de l'OGC en termes d'interopérabilité : il n'y a pas d'exclusivité sur un format propriétaire unique de données. Le déploiement des applications cartographiques, paramétrées depuis le module d'administration, peut se faire sur plusieurs types de supports web : clients purement HTML, client intégrant du Java (applet) ou encore des clients mobiles (palm, pocket pc, etc.). Les prototypes déployés reposent sur des clients web contenant une applet JMAP.

La figure 61 illustre l'architecture générale de JMAP incluant de fait l'architecture de JMAP-SOLAP. L'architecture de JMAP est une architecture trois tiers avec :

- Les serveurs existants du ou des systèmes d'informations sources qui vont être intégrées dans les applications JMAP ; des connecteurs (JDBC ; Java DataBase Connectivity) permettent d'accéder à ces sources et les sources de données ne sont pas altérées.

- Le serveur applicatif JMAP (reposant sur la technologie JAVA) qui contient l'ensemble des configurations faites sur les projets JMAP destinés à être déployées sur les postes clients. Le serveur applicatif est doté de fonctions avancées de gestion du cache pour fluidifier les échanges de données vers les postes clients ; ces fonctions sont particulièrement utiles pour les transferts de données raster et les données géométriques fortement consommatrices en bande passante.

- Les postes clients web se connectant via le web au serveur JMAP ; ceux-ci sont soient des clients web HTML soient des clients web contenant une APPLET JAVA offrant plus d'interactivité et de fonctionnalités. Les fonctionnalités de gestion du cache côté client web sont utilisées pour pré-stocker les objets géométriques ayant déjà été demandés par l'utilisateur dans le but d'améliorer le temps de réponse.

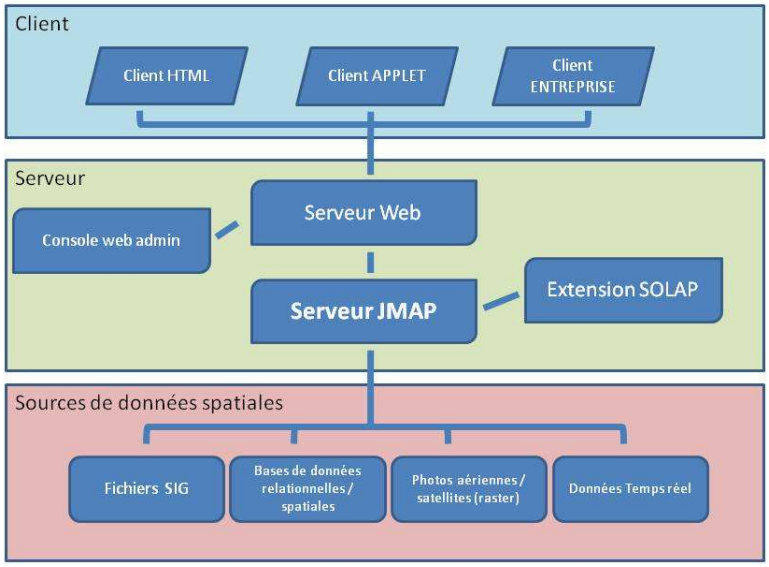


Figure 60 – Schéma d'architecture technique de JMAP

L'outil est composé de deux modules d'interface :

- un « Module d'administration »
- un « Module de visualisation »

Le « Module d'administration » permet de paramétrer les connecteurs physiques aux bases de données (ROLAP) et aux sources d'informations géographiques (fichiers vectoriels, raster, BD géographiques), de configurer les composantes multidimensionnelles (Dimensions, Mesures, Cubes), mais aussi de paramétrer les règles de représentation des données cartographiques au travers de la gestion des couches d'informations géographiques : gestion des styles (trame de fond, couleur, transparence en fonction d'intervalles de valeurs), gestion des thématiques (variation des styles en fonction des intervalles de valeurs sur les mesures), arborescence des couches.

Le « Module de visualisation » permet de restituer les données aux utilisateurs finaux sous forme de diagrammes (diagrammes à barres verticales et horizontales, camemberts, diagrammes de points), de tableaux et de cartes dynamiques simples, complexes, multi-échelles, multi-époques et directement compatibles avec l'environnement de production SIG. Il existe des clients JMAP de type web SIG et d'autres JMAP-SOLAP intégrant les opérateurs de navigation SOLAP. L'intérêt des interfaces JMAP-SOLAP de visualisation est d'offrir à l'utilisateur final la possibilité de construire lui même les états relatifs à l'analyse qu'il souhaite générer à partir des Cubes conçus spécifiquement pour la problématique. L'utilisateur peut définir les modalités d'affichage des colonnes, des lignes, des tableaux ou encore les axes, les courbes des graphiques ou bien les éléments cartographiques. Ce sont les combinaisons de ces trois modes de représentation qui offrent l'interactivité nécessaire pour analyser et diagnostiquer chaque problématique.

IV.1.1.ii. Le Module d'administration de JMAP-SOLAP

Le « Module d'administration » de JMAP-SOLAP (JMAP WebAdmin) intègre à la fois les fonctionnalités propres à l'administration de JMAP et les fonctionnalités propres à SOLAP. Ce module est important puisqu'il permet de relier dans un ensemble cohérent les résultats des traitements, les structures de stockage des « Cubes » et les sources des données géographiques.

On distingue la partie classique d'administration de JMAP et la partie spécifique à SOLAP. Ces deux parties sont interdépendantes puisque chaque cube SOLAP configuré doit être relié à un projet géographique créé dans JMAP.

La partie d'administration JMAP est décomposé en quatre sous modules :

- le sous-module « Bases de données »
- le sous-module « Sources de données spatiales »
- le sous-module « Configuration des projets géographiques »
- le sous-module « Configuration des cubes »

Ces sous-modules sont repris et décrits ci-dessous.

Le sous module « Bases de données »

Ce sous-module permet de configurer l'ensemble des connexions aux bases de données. Il s'agit de définir les liaisons physiques entre JMAP-SOLAP et les bases de données relationnelles manipulées dans les projets. Ainsi on définira par exemple les connexions vers les bases de données contenant les cubes ROLAP, celles contenant les données non géographiques comme par exemple la BD GASPAR sur l'avancement des procédures administratives sur les risques naturels ou la BD SITADEL sur l'avancement des permis de construire sur tout le territoire. Les données stockées dans ces bases vont être jointes dynamiquement à des données géographiques. Il n'y a pas de transfert de données sur le serveur d'application ; les sources de données restent dans leur espace de stockage d'origine.

Ainsi depuis ce module il sera possible de paramétrer les connexions à la BD GASPAR pour l'avancement des procédures administratives sur les risques naturels, la base de données SITADEL contenant les données sur l'avancement des permis de construire ou encore les bases de données « Contrats » et « Sinistres » à l'intérieur du système d'information d'une société d'assurance.

Les bases de données paramétrées dans ce module vont permettre d'intégrer des données non géographiques (sous forme d'attributs) avec des objets géométriques stockés dans des sources de données géographiques.

Le sous module « Sources de données spatiales »

Ce sous-module permet de configurer les paramètres de connexion aux données spatiales soit en chargeant les fichiers SIG de type ShapeFile ou Mid-Mif ou Raster directement sur le serveur applicatif JMAP soit en se connectant à des bases de données spatiales de type ORACLE Spatial. Cela permet de définir le type d'objet géométrique (point, ligne, polygone), les attributs associés à chaque objet géométrique et les paramètres de gestion des transferts de données vers les clients JMAP du « Module de visualisation » de façon à garantir un temps de réponse le plus réduit possible pour la navigation spatiale dans un des clients JMAP. Cela concerne notamment la capacité à généraliser les contours des polygones sur certains niveaux de zoom pour rendre la donnée moins volumineuse mais aussi le « tuilage » visant à découper une couche de données géographiques en un ensemble de tuiles (chaque tuile affichée à la demande de l'utilisateur est conservée sur le poste client de façon à la réafficher rapidement lorsque celle-ci est redemandée par l'utilisateur). Une gestion du cache est faite côté serveur pour pré-traiter les données de type Raster avant envoie car celles-ci sont fortement consommatrices en bande passante. L'ensemble de ces paramètres permettent d'améliorer considérablement le temps de réponse à l'affichage pour obtenir de bonnes performances d'analyse.

De plus, depuis cette interface on configure les jointures entre les objets géométriques contenus dans les sources de données spatiales et les champs des bases de données non spatiales. Cela permet de définir les attributs que l'on souhaite associer aux objets géométriques. Il s'agit de la fonction permettant de définir des attributs externes.

Ainsi à partir de ce sous-module on va créer les connexions à toutes les sources de données géographiques manipulées dans les cas d'étude comme les données issues de GEOFLA sur les contours administratifs et les données sur les parcelles cadastrales IGN, les données issues de la BD Profile Habitat de l'INSEE, les Atlas des Zones Inondables issus des modélisations hydro-géomorphologiques, le Modèle Numérique de Terrain France entière fourni par la NASA (SRTM avec 90m de précision), les PPR numérisés ou encore le découpage hydrographique des bassins versants issus de la BD Carthage de l'IFEN.

La définition des modalités d'affichage dans le « Module de visualisation » des couches géographiques se fait via le sous-module « Projets géographiques ».

Le sous module « Projets géographiques »

Ce sous-module permet de configurer les projets qui seront publiés sous forme d'interfaces clients Internet aux utilisateurs finaux. Un projet est un ensemble de couches d'informations géographiques faisant appel aux sources de données spatiales configurées dans le sous module précédent. Une couche géographique d'un projet contient l'ensemble des paramètres propres à la sémiologie graphique des objets géométriques (point, ligne, polygone) : configuration du style de la couche (couleur, degré de transparence, trame de fond, bordures), gestion des niveaux de zoom, des thématiques (variations des styles en fonction des valeurs ou des

intervalles de valeurs d'un ou plusieurs attributs). Les couches géographiques peuvent être ordonnancées de façon hiérarchique suivant les besoins propres des utilisateurs du projet.

Ainsi on pourra depuis ce sous-module configurer les styles d'affichage en ligne des couches géographiques manipulées dans chacun des « Cubes SOLAP ». Les thématiques permettent par exemple pour les PPR d'utiliser les variations de couleurs pour chaque type de zone (bleues, rouges, autres) ou encore les Atlas des Zones Inondables en fonction de la classe de fréquence du scénario de crue (Très Fréquent, Fréquent, Rare, Exceptionnel). On décidera de la sémiologie graphique de l'affichage des parcelles cadastrales ou encore des lieux de risque des polices d'assurance ou bien des îlots INSEE. Il est possible d'enrichir l'affichage à l'aide de données Raster comme par exemple les représentations des routes et de l'occupation du sol afin de permettre à l'utilisateur de mieux se localiser dans l'espace géographique représenté. Il convient ensuite de configurer les cubes SOLAP qui seront explorés par les utilisateurs au travers des projets définis dans le présent sous module.

Le sous module « Configuration des cubes SOLAP »

A partir de ce sous module il est possible de configurer les cubes pour les rendre explorables au travers d'un client internet JMAP-SOLAP. Pour cela il est nécessaire de définir les connexions aux tables de Dimensions, aux tables de Faits, d'identifier les Mesures et les jointures sous forme de cubes.

La gestion des « Dimensions » permet de gérer le paramétrage de la liste de l'ensemble des dimensions disponibles pour tous les cubes : les « Dimensions spatiales », les « Dimensions descriptives » et les « Dimensions temporelles » (concernant les « Dimensions opérateurs », elles sont configurées comme des « Dimensions descriptives »). Pour chacune des dimensions une connexion est faite à une des tables de Dimension accessible le « sous-module Base de données ». Ensuite pour chaque Dimension on définit l'architecture en étoile, ou en flocon, les niveaux hiérarchiques en identifiant pour chaque niveau l'identifiant unique et le libellé de chaque Membre : une clé d'identifiant unique utilisée pour faire la jointure avec la table de Faits et un libellé visible depuis l'interface du client JMAP-SOLAP. Concernant les « Dimensions spatiales » à chaque niveau hiérarchique est associée une source de données géographique en faisant la jointure entre les identifiants des Membres et les identifiants des objets géométriques.

Ensuite il convient de paramétrer les « Cubes SOLAP ». Pour cela un des « Projets géographiques » configurés dans le sous-module précédent est associé à un « Cube SOLAP ». On va ensuite établir la connexion avec la table des Faits puis identifier à l'intérieur de cette table les champs contenant les valeurs des « Mesures ». Dans la version de SOLAP utilisée les Mesures spatiales de type « pointeurs spatiaux », « objets géométriques» ne sont pas gérées ; il est uniquement possible de configurer les « Mesures numériques » (nombres, montants, ratio, pourcentage, surface, superficie, périmètre, etc.). Les listes de « pointeurs spatiaux » seront donc présentées sans avoir été réellement implémentées dans les prototypes. Pour chaque « Mesure » on associe une thématique de vue permettant de différencier la sémiologie graphique (couleur, trame, transparence, bordure, etc.) selon les valeurs de la

mesure : intervalles de valeurs ou des valeurs uniques, fonction de distribution de la variable (écart type, moyenne, etc.).

La figure 62 récapitule les sous-modules en les pointant sur l'interface du module d'Administration de JMAP-SOLAP.

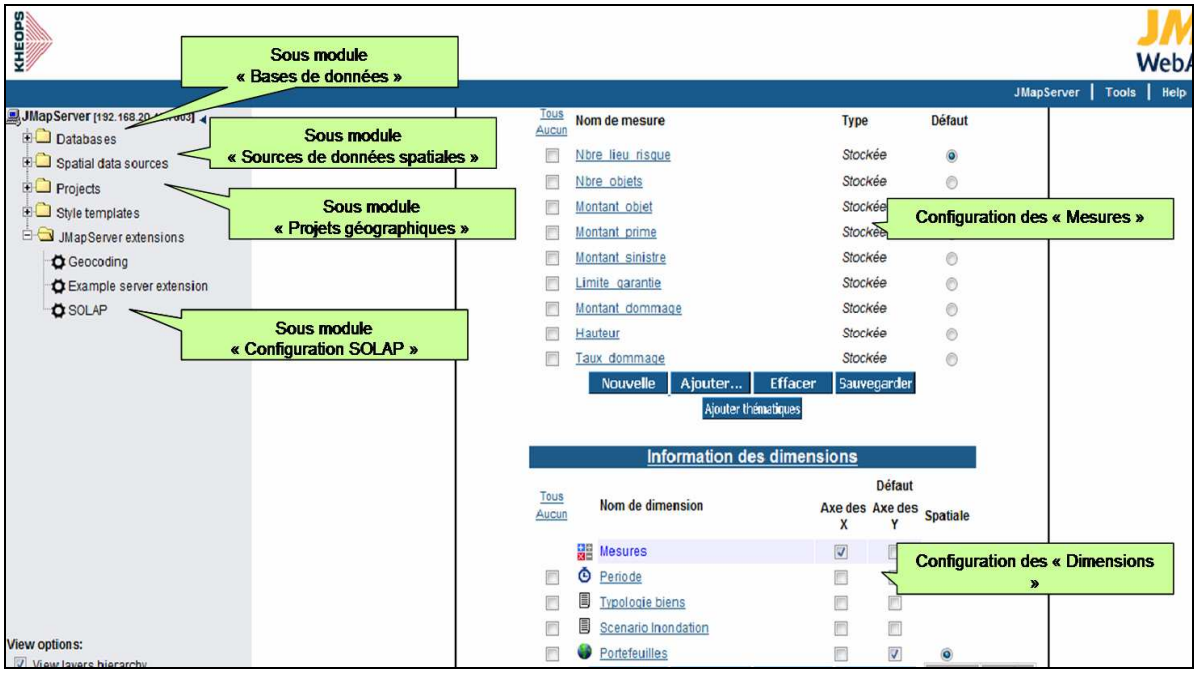


Figure 61 – Illustration de l'interface d'administration JMAP-SOLAP

Une fois les Mesures configurées il ne reste plus qu'à paramétrer les jointures entre les clés d'identifiant étrangères de la table de Faits et la clé d'identifiant unique de chaque Dimension du Cube. Enfin il est possible pour accompagner contextuellement l'utilisateur de définir les métadonnées du Cube ; c'est à dire les données permettant de décrire les données contenues dans les dimensions et les mesures depuis le « Module de visualisation » JMAP-SOLAP.

IV.1.1.iii. Le « Module de Visualisation » JMAP-SOLAP

Le « Module de Visualisation » est une interface web d'exploration et d'analyse de « Cube SOLAP ». Elle contient des opérateurs propres à la navigation cartographique (communs aux Systèmes d'Information Géographiques - SIG) et des opérateurs spécifiques SOLAP permettant de naviguer dans les « Faits » et les « Mesures » à partir de la sélection des « Membres » des « Hiérarchies » des « Dimensions ». Il est possible de générer plusieurs types de vues au sein de la même interface :

- Tableaux (multidimensionnels avec plusieurs axes en colonne et en ligne).
- Graphiques (histogrammes, courbes, camemberts, combinaisons de plusieurs graphiques).
- Cartes (cartes thématiques, multicartes, cartes avec graphiques superposés).

A l'aide de simples déplacements de souris il est possible de positionner les « Dimensions » que l'on souhaite avoir en colonne et en ligne pour construire les tableaux ou bien les axes d'abscisses et d'ordonnées des graphiques ou encore la dimension utilisée pour le multi-cartes ou mono-carte pour la cartographie.

Ce mode de sélection est relativement intuitif puisque les intitulés des Dimensions (comprenant les niveaux hiérarchiques, les membres), des mesures sont en accord avec les axes d'analyse privilégiés par l'utilisateur décideur. La figure 63 zoome sur la partie de l'interface permettant de sélectionner les Dimensions, les Mesures et les axes pour générer ensuite les cartes, graphiques, et tableaux.

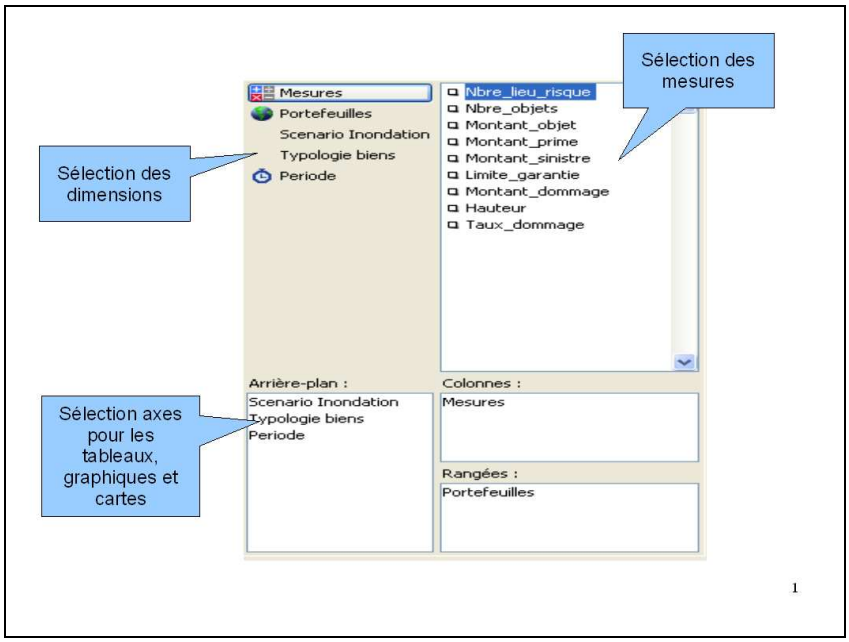


Figure 62 – Sélection des « Mesures », des « Dimensions » pour construire les graphiques, tableaux, cartes

On distingue deux types d'opérateur de navigation depuis l'interface de visualisation :

- **Les opérateurs SIG** servent à effectuer des opérations sur les objets géométriques propres à un outil Web SIG comme JMAP à savoir : sélection d'objets géométriques, requêtes topologiques entre des objets géométriques (intersections, inclusions, etc.), Mesures métriques sur les objets (distance, superficie, périmètre), contrôle des couches (permettant de changer en ligne la sémiologie graphique ou l'ordre d'affichage des couches), ajout de labels ou de commentaires sur la cartes à partir des attributs des objets géométriques. Avec ces fonctionnalités, l'utilisateur peut relever de l'information à partir de l'état cartographique généré lors de l'analyse. Ainsi l'utilisateur pourra par exemple relever les distances des lieux de risques affichés avec les zones d'aléas ou bien la proximité aux zones PPR. La figure 64 présente la barre d'outils de l'interface pour utiliser les opérateurs SIG.

Figure 63 – Opérateurs SIG du Module de Visualisation

- **Les opérateurs SOLAP** permettent de naviguer sur les Dimensions et Mesures à l'intérieur des tableaux, graphiques et cartes. On distingue notamment :

    - le « Forage » (drill-down) : permet de passer d'un niveau hiérarchique global vers un niveau hiérarchique plus détaillé d'une dimension
    - le « Remontage » (drill-up) : permet de remonter d'un niveau détaillé à un niveau plus global d'une dimension
    - le « Forage latéral » (drill-accross) : permet de passer d'un membre d'un niveau hiérarchique à un autre membre de ce même niveau à l'intérieur d'une dimension

- Ces opérateurs sont applicables sur toutes les vues possibles ; par exemple « Forage » à l'intérieur de la « Dimension Spatiale » sur la vue cartographique. Les opérateurs permettent aussi de générer chacune des vues graphiques, tableaux et cartographie ; pour chaque vue les sélections des Dimensions sont conservées et l'ensemble du contexte peut être sauvegardé par l'utilisateur. Par ailleurs il est possible de synchroniser les vues de façon à ce que les modifications sur la sélection des Membres d'une ou plusieurs Dimensions ou d'une ou plusieurs Mesures soient simultanément prises en compte sur l'ensemble des vues générées. La figure 65 présente la barre d'outils de l'interface pour utiliser les opérateurs SOLAP.

Figure 64 – Opérateurs SOLAP du Module de Visualisation

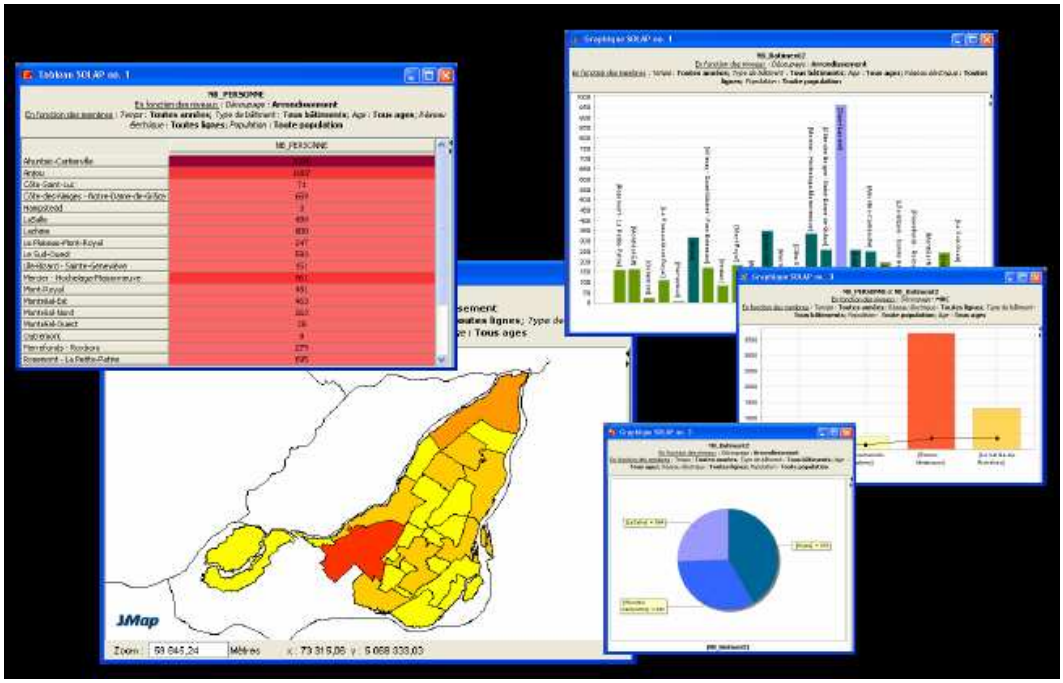


Figure 65 – Exemple de combinaison de vues graphiques, cartographiques et tabulaires dans la même interface SOLAP

Ce sous-chapitre a présenté l'étape d' « Appropriation technologique » au travers de l'exemple de technologie géodécisionnelle « JMAP-SOLAP ». L'intérêt de cette plateforme technologique est de pouvoir paramétrer dans un même ensemble des bases de données, des sources de données géographiques et des Cubes SOLAP. Le module web d'Administration permet d'effectuer les paramétrages sans avoir à faire de programmation. Le module de visualisation permet de générer les vues et de les combiner de façon intuitive à partir d'opérations de « drag and drop » (glisser-déplacer) avec la souris ce qui rend la tâche plus facile pour les analystes et les décideurs pour s'affranchir des barrières techniques et se concentrer exclusivement sur l'analyse et l'exploration des indicateurs de la problématique.

L'étape suivante consiste à présenter la chaîne de traitements à mettre en œuvre pour extraire les données, les transformer et les charger dans les « Cubes » ou « Structures spatiales multidimensionnelles » dont la conception a été faite lors de la phase de « Modélisation ».

IV.2. Etape 2 : Réalisation des traitements d'ingénierie

Les traitements nécessaires à la consolidation des indicateurs doivent être organisés de façon méthodique afin de garantir des valeurs cohérentes des Mesures calculées pour les combinaisons de dimensions possibles. Il convient de mettre en place une chaîne de traitements qui correspond à un environnement informatique depuis l'extraction des données source, des croisements les unes entre elles, les calculs des Mesures pour chacune des combinaisons de Dimensions jusqu'à la restitution finale à l'utilisateur. Il s'agit de l'étape de « Réalisation des traitements » de la démarche d'Implémentation.

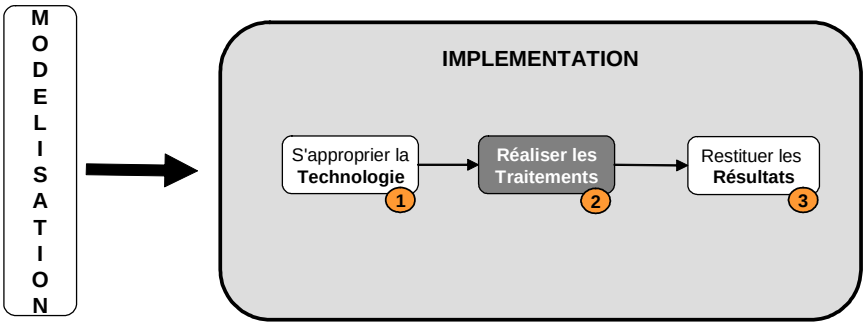


Figure 66 – Etape de « Réalisation des traitements » dans la démarche d'Implémentation

L'étape de traitement (figure 67) se décompose en trois sous-étapes :

- La sous-étape d' « Extraction des données »
- La sous-étape de « Transformation des données »
- La sous-étape de « Chargement des Cubes »

Ces sous-étapes sont décrites ci-dessous (figure 68).

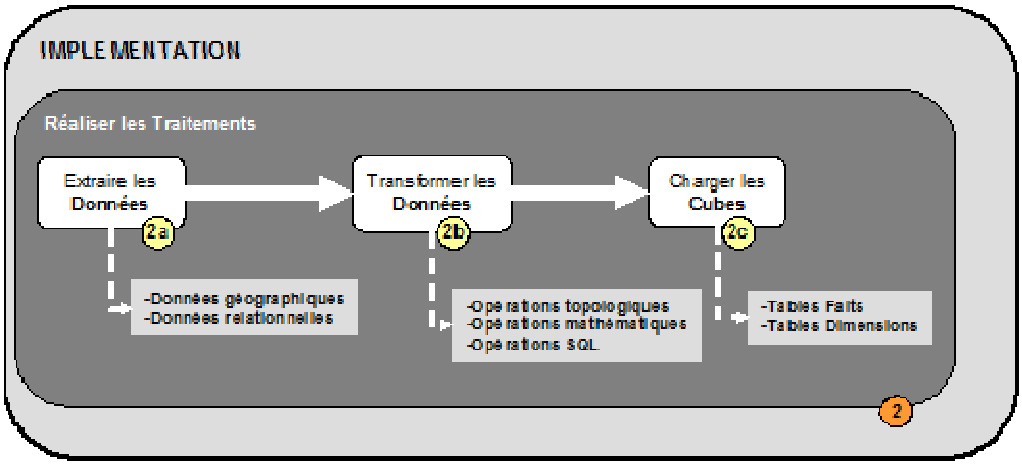


Figure 67 – Décomposition des sous étapes de la « Réalisation des traitements »

Dans ce sous-chapitre on va illustrer chacune des sous-étapes au travers des cas d'étude traités sur la problématique sur l' « Evaluation de la politique de prévention sur l'angle de l'efficacité et de la pertinence » et l' « Evaluation de l'exposition financière des portefeuilles d'assurés aux Inondations ».

IV.2.1. Etape 2a : Extraction des données

Cette étape permet de rassembler l'ensemble des données géographiques et non géographiques à mobiliser pour réaliser les traitements. Il s'agit de mettre en place les connecteurs et le chargement sur la plateforme d'ingénierie des données. Les données à

mobiliser ont été présentées dans l'étape de « Recensement des Données mobilisables » dans la phase « Modélisation » détaillée dans le Chapitre III. A cette étape, les données sont préparées pour les traitements ultérieurs visant à calculer les valeurs des « Faits » à charger dans les « Cubes SOLAP » pour permettre l'analyse des cas d'études modélisés. De façon à rendre les rendres exploitables, les données sont extraites puis pré-traitées. Les prétraitements permettent notamment de nettoyer les données pour chaque source de données ; supprimer les doublons, regrouper les informations numériques et alphanumériques par objet géométrique. Par ailleurs les requêtes permettent de cibler précisément les données nécessaires à l'intérieur de chaque source. Les requêtes sont un ensemble d'extractions, de requêtes SQL et sélections d'objets géométriques pertinents pour la problématique traitée. Concernant les opérations SQL on utilise les outils des environnements relationnels avec des connecteurs de base de données (ODBC, JDBC). Les extractions MainFrame peuvent être faites à partir de logiciels de type SAS. Concernant les extractions d'objets géométriques l'outil ArcCatalog d'ESRI a été utilisé.

Pour les traitements relatifs au modèle sur l' « Evaluation sur la pertinence des mesures préventives » il faudra extraire les données sur l'avancement des PPR et le comptage des arrêtés Catnat par année, pour l'aléa Inondation pour chaque commune à partir de la « BD GASPAR » pour les données alphanumériques. Les objets géométriques sont ceux sélectionnés à partir de la « BD Profil Habitats » de l'INSEE pour les types d'habitations recherchés dans la Dimension « Habitat » : logements individuels, collectifs, professionnels, entreprises. Les zones inondables provenant des « Atlas des Zones Inondables » (AZI) sont les autres objets géométriques sélectionnés pour les calculs d'exposition à l'aléa inondation (à partir de l'hypothèse considérant qu'il s'agit pour chaque partie du territoire d'une modélisation hydrogéomorphologique). Les contours administratifs des Communes, Départements, Régions sont extraits à partir de la BD GEOFLA de l'IGN.

Pour les traitements relatifs au modèle sur l' « Evaluation de l'efficacité des mesures préventives », il faudra extraire les données sur l'avancement et les types de constructions associées à partir de la « BD SITADEL » du MEEDDAT. Les autres extractions sont des objets géométriques avec notamment l'extraction des zones réglementaires pour les Communes ayant des PPR approuvés avec le type associé (« Rouge », « Bleue », « Jaune », « Autre »). Comme précédemment, les zones inondables sont mobilisées. L'unité géographique la plus fine est la « Parcelle Cadastrale » ; les parcelles pertinentes sont celles des communes ayant un PPR approuvé et elles sont contenues dans la BD Parcellaire de l'IGN. Les contours administratifs de la BD GEOFLA de l'IGN sont aussi mobilisés.

Pour les traitements relatifs au modèle sur l' « Evaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés d'une société d'assurance », il faudra extraire des données internes au système d'information global de l'entreprise d'assurance considérée. Il sera nécessaire d'extraire les montants des sinistres, des primes, les adresses de risques, les descriptions des objets de risque assurés et sinistrés avec les valeurs financières associées. Pour chaque adresse de risque on dispose des coordonnées géographiques associées ce qui permet de générer un fichier de points représentant l'ensemble des lieux de risque des portefeuilles d'assurés. Les données sur les inondations permettant de réaliser les calculs d'endommagement sont des

résultats de modélisations hydrauliques reposant sur un MNT avec le logiciel HEC-RAS : les mailles issues de la modélisation suivent celles de la BD Alti avec une précision de 50m.

Le schéma de la figure 69 récapitule les connections avec les sources de données géographiques et les bases de données non géographiques pour faire les extractions nécessaires à la réalisation des traitements.

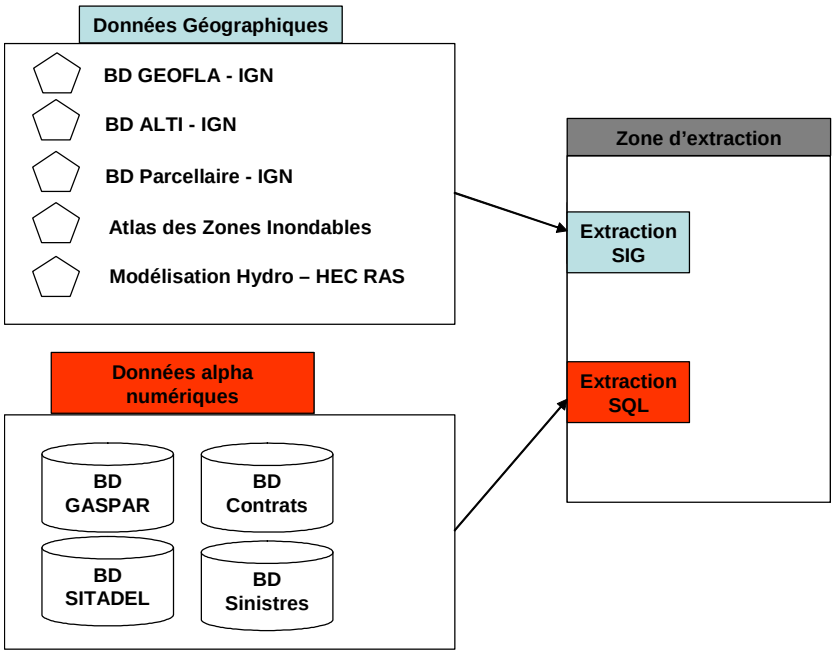


Figure 68 – Schéma récapitulant la sous-étape d'Extraction des données dans la phase d'implémentation des modèles

La sous-étape suivante consiste à réaliser les traitements de transformation pour réaliser les calculs des Mesures à partir des combinaisons des Membres des Dimensions afin de consolider les Faits qui seront chargés dans le Cube.

IV.2.2. Etape 2b : Transformation des données

L'étape de Transformation consiste à réaliser un ensemble de prétraitements pour faciliter le chargement.

Les traitements combinent un ensemble d'opérations topologiques, mathématiques et SQL. Ces prétraitements nécessitent de mettre en place des bases de données intermédiaires pour stocker les résultats. La suite de ce sous-chapitre vise à présenter quelques illustrations des traitements ayant pu être réalisés dans chacun des cas d'étude modélisés.

IV.2.2.i. Les traitements sur l'évaluation de la pertinence des mesures préventives

Concernant le cube sur l' « Evaluation de la Pertinence des mesures préventives », il s'agit d'être en mesure de pouvoir évaluer le nombre de logements individuels, collectifs et professionnels situés en zones inondables. Or il est impossible de disposer des adresses de tous les logements de France dans le but de les géocoder puis de les croiser avec les zones inondables pour avoir le nombre précis de ces logements. En revanche il est possible d'approcher ce nombre en utilisant les polygones des îlots de la base Profil Habitat de l'INSEE. En effet pour chaque îlot on dispose de l'information sur le nombre de logements individuels, collectifs et professionnels. Il est alors possible de calculer la proportion de chaque polygone inclus dans une zone inondable. Par exemple si 50% d'un îlot contenant 200 logements individuels est situé dans une zone inondable de fréquence « Exceptionnelle » alors il sera considéré avec cette méthode qu'environ 100 logements individuels sont concernés par le risque. En prenant les zones inondables disponibles sur tout le territoire, en les croisant avec les contours sur la base Profile Habitat on obtient pour chaque îlot le nombre de logements exposés. Un îlot étant attaché à une commune, à partir de ces traitements on peut corréler les logements inondables par type avec les membres des autres dimensions dont certains correspondent aux attributs de chaque commune (ex : logements inondables pour les communes ayant connus des arrêtés catastrophes naturelles dans les 5 ans et n'ayant pas de PPR approuvé). Cette méthode d'approximation des logements inondables a été mise au point par l'équipe de la MRN pour reconstituer les dommages sur des événements passés comme les crues de 2002 et 2003 dans le Gard et dans le Rhône [MRN, 2006]. La figure 70 présente l'illustration de ce type de traitement de calcul des proportions d'îlots INSEE situés en zones inondables d'un AZI.

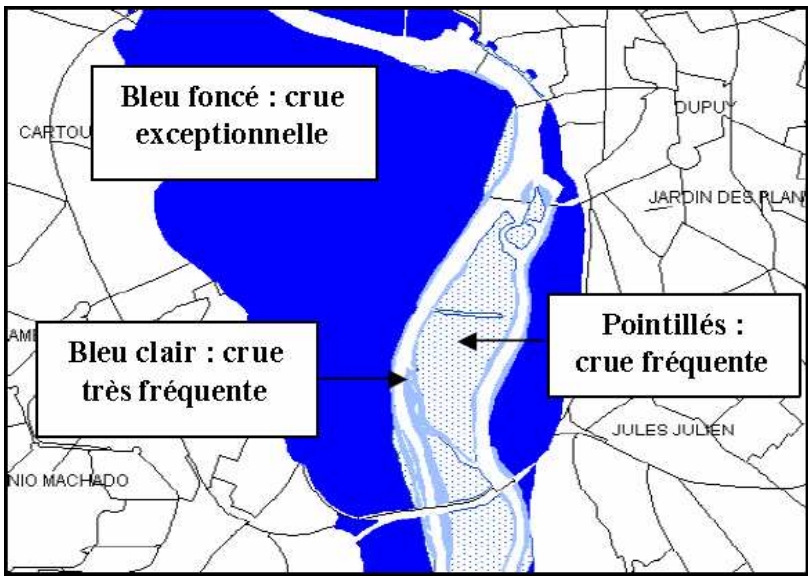


Figure 69 – Illustration des croisements entre les îlots INSEE Profil Habitat et l'Atlas des Zones Inondables dans le département des Alpes Maritimes

Les prétraitements complémentaires consistent à effectuer des requêtes SQL et des regroupements sur la base de données GASPAR. Pour déduire l'avancement du PPR de chaque commune soumise au risque inondation, il est nécessaire de « transformer » une date de prescription et/ou d'approbation ou l'absence en un état d'avancement (absent, prescrit, approuvé). Pour les arrêtés Catnat il s'agit de comptabiliser le nombre par année via des regroupements par commune pour l'aléa inondation. Une fois ces informations regroupées par commune un regroupement est fait par Code Insee en partant des résultats des croisements faits entre les îlots et l'AZI.

Le tableau 12 montre un extrait de la table stockant tous les résultats des traitements réalisés sur toutes les communes du département des Alpes Maritimes : proportions de logements en zone inondable (collectifs, individuels, professionnels), l'état d'avancement du PPR, le nombre d'arrêtés Catnat, etc.).

INSEE	Nom de la commune	Nombre de logements individuels en zone inondable	Nombre de logements en habitat collectif en zone inondable	Nombre total de logements en zone inondable	Proportion de logements individuels en zone inondable	Proportion de logements en habitat collectif en zone inondable	Proportion de logements en zone inondable	PPR approuvé	Nombre arrêtés catnat inondation
06088	NICE	2017	79275	81292	0,16	0,48	0,45	approuvé	8
06029	CANNES	804	14204	15008	0,20	0,27	0,27	approuvé	7
06027	CAGNES-SUR-MER	1991	8686	10677	0,30	0,51	0,45	approuvé	7
06083	MENTON	582	6533	7115	0,19	0,35	0,32	prescrit	5
06079	MANDELIEU-LA-NAPOULE	601	5409	6010	0,23	0,41	0,38	approuvé	4
06004	ANTIBES	691	4979	5670	0,08	0,12	0,11	approuvé	7
06123	SAINT-LAURENT-DU-VAR	244	2494	2738	0,12	0,22	0,21	prescrit	8
06149	TRINITE (LA)	555	798	1353	0,39	0,35	0,36	approuvé	3
06090	PEGOMAS	671	395	1066	0,45	0,46	0,46	approuvé	6
06136	SOSPEL	535	367	902	0,50	0,50	0,50	absent	6
06162	LA BRIGUE	455	366	821	0,88	0,88	0,88	Prescrit	4
06126	SAINT-MARTIN-DU-VAR	375	400	775	0,91	0,91	0,91	absent	5

Tableau 12 - Exemple de traitements réalisés à partir des calculs d'exposition des logements et des recoupements avec la base GASPAR sur le département des Alpes Maritimes

IV.2.2.ii. Les traitements sur l'évaluation de l'efficacité des mesures préventives

Concernant le cube sur « l'Evaluation de l'Efficacité des mesures préventives », les traitements consistent cette fois à réaliser les croisements entre les contours des parcelles cadastrales à l'intérieur des communes, les contours des zones réglementaires des PPR et les contours des zones inondables de façon à suivre l'évolution des permis de construire délivrés dans ces zones. Dans un premier temps, pour mesurer la qualité du zonage du PPR, il faut

croiser les contours des zones inondables avec ceux des zones réglementaires afin d'identifier les zones pour lesquelles la cartographie de l'aléa est surestimée par rapport au PPR ou inversement là où la cartographie de l'aléa est sous-estimée par rapport au PPR ou encore là où la cartographie de l'aléa et du PPR sont en adéquation. Dans un second temps il faut croiser les objets géométriques obtenus avec les contours des parcelles cadastrales pour classer les parcelles par type de zone. De façon à rendre les résultats des Mesures agrégeables on attribue à chaque parcelle un seul type de zone inondation, un seul type de zone réglementaire et un seul critère d'analyse aléa-PPR. Si une ou plusieurs parcelles sont situées à la frontière de deux types de zones alors on attribuera uniquement le type dont la proportion est la plus importante. Par la suite une jointure est faite avec la base de données SITADEL pour identifier l'avancement des permis de construire en fonction des membres des autres Dimensions du cube (type de construction, étape d'avancement de l'autorisation). Les résultats de ces traitements doivent être pondérés par les incertitudes liées aux différentes échelles des couches cartographiques manipulées ; un Atlas de Zones Inondables est réalisé à l'échelle de 1/25 000e (avec une incertitude de 25 m) et les zonages réglementaires sont réalisés au 1/5000e (avec une incertitude de 5 à 10 m). Ces types de traitements ont été réalisés lors de l'étude visant à concevoir un dispositif de notation des PPR réalisé en 2006 entre la MRN et ARMINES [Etude PPR, 2006].

Il s'agit ensuite de réaliser des regroupements d'information de la base de données SITADEL pour suivre l'avancement des permis de construire sur la nature des travaux et l'étape d'avancement. Des tables intermédiaires sont créées pour stocker de façon structurée les informations pertinentes pour le modèle comme le type de construction, l'étape d'avancement de chaque permis de construire, le type de construction.

Le tableau 13 est un extrait de la table stockant les résultats des traitements réalisés entre les zones réglementaires du PPR, les contours des parcelles cadastrales et les zones inondables sur la commune d'Orléans.

Adresse du PC	Date de délivrance	Superficie de la parcelle	Nb de maison individuelle en cours	Nb logements collectifs en cours	SHON non habitation en cours	SHON totale autorisée en cours	Identification cadastrale	AZI vs PPR	Zone PPR	Somme des aires
4 rue de la Cossonnière	01/06/2003	2269	1	0	0	0	DS0477	AZI=PPR	A4	4718733
28 rue de la fontaine	01/07/2003	1202	2	0	0	32	DI0019	AZI=PPR	A3	27646919
64 ter rue du bois Girault	01/12/2001	493	1	0	0	130	DT0119	AZI=PPR	B3	54093916,58272
14 avenue St Mesmin	01/07/2003	5647	0	42	0	2789	CZ0417	AZI>PPR	B3	76046,09023
Rue Basse Mouillère	01/11/2003	795	1	0	0	227	DR0736	AZI<PPR	B3	251990
Rue de la Binoche	01/10/2005	1196	2	0	0	220	DS0354	AZI<PPR	B3	79487
34 avenue de la Mouillère	01/01/2006	674	1	0	0	44	DO401	AZI < PPR	A1	15663

Tableau 13 - Extrait de traitement réalisés sur Orléans à partir de la localisation des permis de construire, du zonage du PPR, de l'AZI et des contours des parcelles cadastrales

La figure 74 présente l'illustration cartographique des traitements SIG réalisés pour obtenir les résultats des traitements sur la commune d'Orléans.

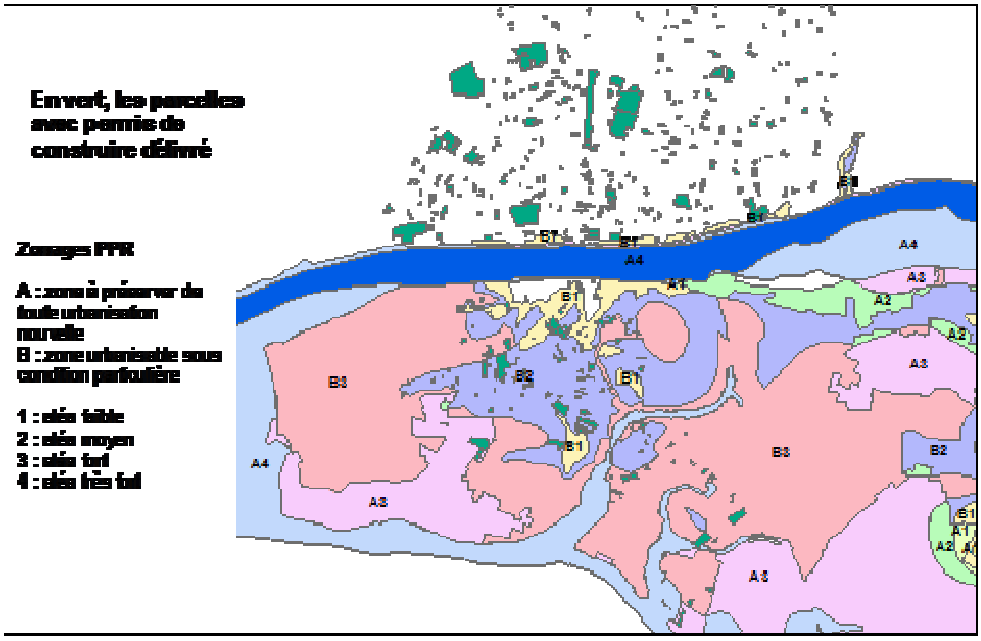


Figure 70 – Illustration cartographique des traitements réalisés sur la commune d'Orléans en intersectant les parcelles cadastrales ayant un permis de construire délivré avec la comparaison du zonage du PPR et de l'AZI

IV.2.2.iii. Les traitements sur l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés

Concernant le cube sur l' « Evaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés », les traitements géographiques consistent pour l'essentiel en l'évaluation du degré d'exposition des biens assurés selon le scénario inondation sélectionné afin d'estimer les montants financiers des dommages potentiels. Pour obtenir l'exposition d'un bien ou d'un territoire à un scénario de crue il est nécessaire d'exploiter les résultats de modélisations hydrologiques et hydrauliques permettant d'obtenir à l'intérieur des principaux bassins versants les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement en tenant compte du relief et des critères de précipitation en amont. Pour réaliser ces opérations il est nécessaire de croiser les données provenant :

- Un modèle numérique de terrain (MNT) : maillage carré ou triangulaire du territoire avec pour chaque maille des variables permettant de définir le relief. Le MNT permet d'obtenir la topographie du territoire ; relief, pentes. C'est essentiel pour observer la distribution spatiale du phénomène. La précision des mailles dépend de la qualité de la source de données ; cela peut aller de 30 m à 90 m. L'obtention des reliefs se fait à partir d'outils de télédétection (soit par avion, soit par satellite). La NASA fourni un relevé par satellite monde entier avec une précision de 50 m tandis que l'IGN fournit un MNT à l'échelle de la France à une précision de 90m.

- Les données permettant de caractériser les sols des bassins versants afin d'évaluer au mieux le taux de perméabilité et ainsi d'analyser les ruissellements et les infiltrations lors de l'inondation (roche, forêt, argile, etc.) ; la base de données TOPO de l'IGN permet d'obtenir les informations sur la nature et l'occupation des sols.
- Les séries de données météorologiques issues des stations de mesures en amont des cours d'eau et du réseau de surveillance des crues permettant d'obtenir pour une période de retour la pluviométrie et le débit du cours d'eau en amont. Ces données sont fournies sur demande par Météo France.
- Les lignes géographiques des cours d'eau extraits du réseau hydrographique français (BD CARTHAGE).
- L'utilisation de logiciels hydrologiques pour simuler les scénarios d'inondation sur les bassins versants. Différents logiciels peuvent être utilisés : au sein du CRC, ce sont les logiciels conçus par la NASA, HEC-RAS pour le modèle inondation et HEC-FM pour la génération de scénarii. Ces logiciels ont été conçus par le corps des ingénieurs de l'armée américaine et permettent d'intégrer un ensemble de paramètres de manière très fine.

A partir de cet ensemble d'outils il est possible de générer des scénarios d'inondation avec les paramètres en entrée tels que les niveaux de précipitation, les débits enregistrés sur les stations de mesures des cours d'eau, et les résultats en sortie pour chaque maille du MNT du bassin versant tels que les hauteurs d'eau, les vitesses d'écoulement. Ainsi au regard du cube, les données obtenues à l'issue de ces simulations sont pour chaque période de retour de la dimension « Scénario Inondation » et pour chaque bassin versant (Dimension « Bassin versant ») une enveloppe de crue contenant l'ensemble des mailles. Chaque maille contient un ensemble d'attributs dont ceux quantifiant l'aléa inondation tels que « hauteur d'eau » et « vitesse d'écoulement » pour chaque période de retour de la dimension « Scénario Inondation ».

Une fois l'obtention de toutes les enveloppes de crue pour tous les bassins versants, l'opération suivante consiste à confronter les lieux de risque assurés (représentés par des points) avec les mailles des bassins versants. L'ensemble des adresses de risque contenues dans les portefeuilles de contrats doit être géocodées ; à une adresse de risque correspond un lieu de risque et donc un site assuré d'un contrat. Les lieux de risque sont stockés dans un fichier de points classés par type de portefeuille et par contrat en accord avec la dimension « Portefeuille ». Un traitement SIG devra être réalisé pour intersecter la couche géographique contenant les lieux de risque et la couche contenant les mailles des bassins versants. L'intersection de ces deux couches donnera pour chaque lieu de risque le degré d'exposition à l'inondation pour chaque scénario de crue (par période de retour) et par conséquent la possibilité de calculer les dommages financiers associés.

Au regard du calcul d'exposition des objets de risque calculés via les requêtes géographiques détaillées précédemment, il faut en déduire l'ensemble des mesures telles que : le montant des dommages, la valeur des biens assurés, le ratio sinistres/primes et ce à l'échelle de chaque lieu de risque. Le calcul des montants d'endommagement se fait à partir des courbes d'endommagement appliquées à chaque typologie de biens assurés. Une courbe d'endommagement se compose en abscisses du niveau d'intensité de l'aléa (hauteur d'eau/débit) et en ordonnées le niveau d'endommagement associé. La construction des

courbes d'endommagement se fait à partir de retours d'expérience sur des catastrophes naturelles passées. Il s'agit de données issues d'études techniques, de relevés de terrain et d'études statistiques à partir des sinistres enregistrés dans les bases de données des assureurs. [Torterotot et al., 1994], [Penning et al., 1994], [Hydratec, 1998] ont réalisé ce type d'étude pour calculer les risques d'endommagement pour le risque de crue. Le travail de réalisation de ces courbes d'endommagement n'a pas été réalisé par le secteur de l'assurance en France contrairement à d'autres pays européens comme l'Angleterre ; au vu de ce constat il est nécessaire de formuler l'hypothèse que ces courbes existent pour chaque type de bien étudié dans ce modèle. La figure 75 présente un exemple de courbe d'endommagement donnant les taux d'endommagement en fonction de la hauteur d'eau.

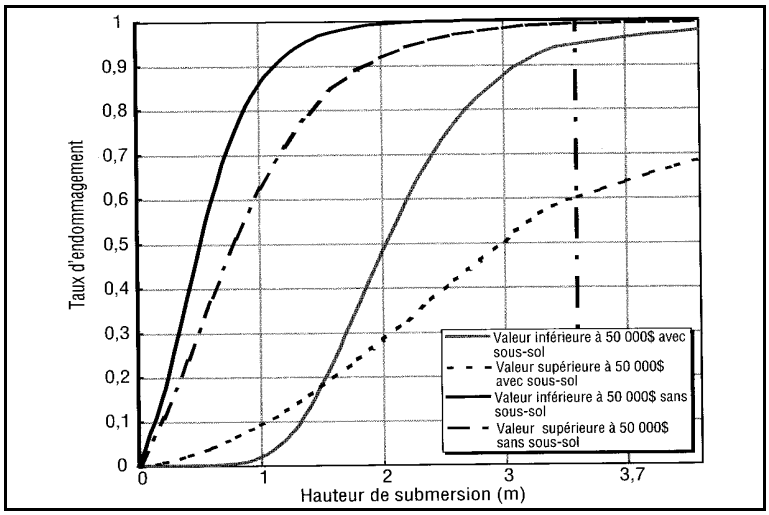


Figure 71 – Illustration de courbes d'endommagement d'après [Blin et al., 2004]

A partir du pourcentage d'endommagement on en déduit les conséquences financières calculées à partir des valeurs des objets de risque assurés ; bâtiments, stocks, marchandises, mobiliers. On applique une règle de calcul et d'indexation du coût propre à chaque type de bien étudié (ex : coût de construction pour le bâtiment, coût de production pour le stock, coûts d'achat pour la marchandise, valeur de remplacement pour le mobilier) en pondérant la valeur par un coefficient de vétusté. Le pourcentage d'endommagement obtenu sera directement appliqué au montant calculé de la valeur du bien ce qui permettra d'obtenir un montant financier pour chaque scénario étudié. C'est l'agrégation de ces valeurs par bassin versant et par scénario sur chaque maille du MNT qui permet d'obtenir les valeurs de la mesure « montant des dommages potentiels ».

Pour le calcul des montants des sinistres et des primes sur les contrats il est nécessaire de construire des requêtes de base de données (SQL) permettant de récupérer pour chaque lieu de risque listé dans chaque contrat, la proportion des primes, des sinistres pour chaque type d'objet de risque assurés. Ainsi il convient de construire des requêtes de bases de données (SQL) permettant de regrouper les montants des sinistres pour chaque objet de risque de chaque contrat. La recherche dans les bases de données sinistres d'une société d'assurance se

fait sur les sinistres enregistrés rattachés informatiquement à une garantie sinistrée de type Catnat se référant au lieu de risque considéré. Cette garantie est mise en jeu dès lors qu'un arrêté Catnat est publié pour un ensemble de communes impactées. La remontée des informations sur les dommages par type de bien se fait à partir de retours d'expérience et de rapports d'expertise sur l'évaluation des dommages pour entamer le processus d'indemnisation. Les montants des primes et des sinistres sont calculés par mois et par année. Le rapport sinistres/primes (S/C) est une mesure calculée en faisant le rapport entre le total des montants des primes et le total des montants des sinistres correspondant à la sélection des membres des dimensions.

Le schéma de la figure 76 récapitule et illustre l'ensemble des traitements à effectuer dans le cadre de l'évaluation de l'endommagement.

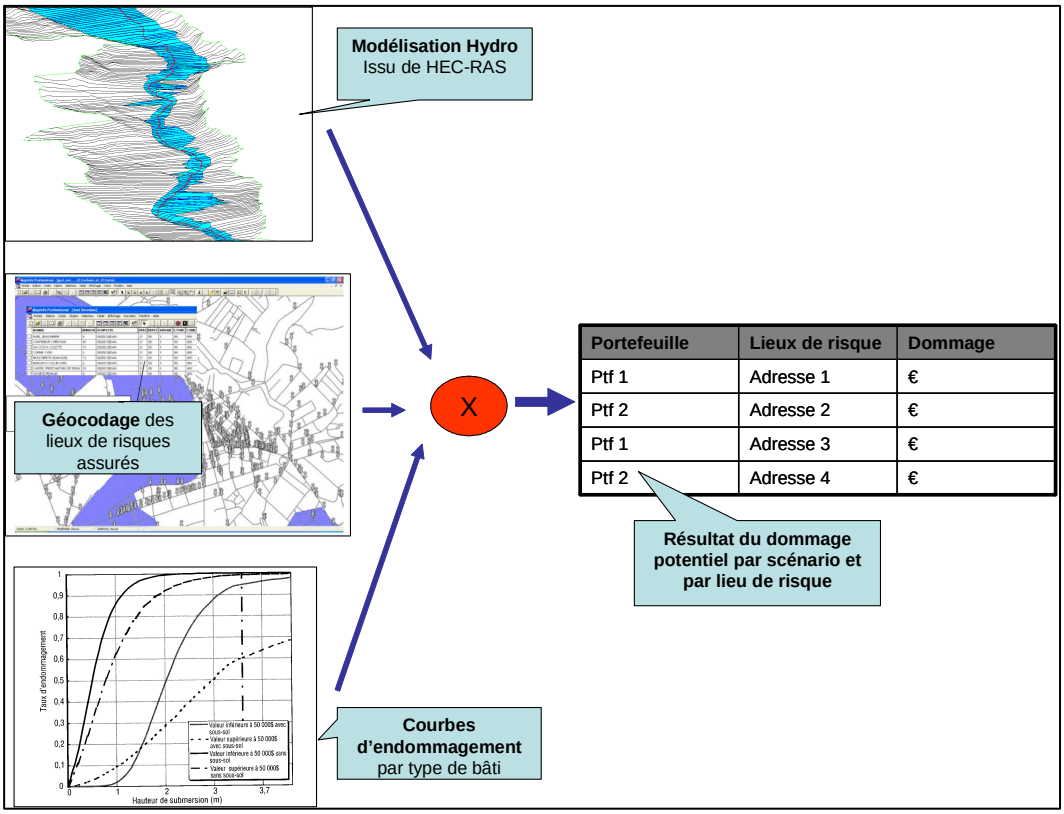


Figure 72 – Illustration des traitements à réaliser dans le cadre de l'évaluation des dommages sur les portefeuilles d'assurés

Après avoir illustré les traitements réalisés, il convient maintenant de donner des éléments sur les méthodes utilisées pour charger les données dans les Cubes ; charger les tables de Faits, charger les tables de Dimensions.

IV.2.3. Etape 2c : Chargement des cubes

Le chargement des Cubes consiste à stocker les données dans les tables du modèle spatial multidimensionnel. On distingue plusieurs étapes :

- charger les tables de « Dimensions » avec l'ensemble des Membres des Hiérarchies de chaque « Dimension »
- charger la table des « Faits » avec :
  - les « Faits détaillés » pour les valeurs des combinaisons des Membres les plus fins de chaque « Dimension »
  - les « Faits agrégés » pour les combinaisons des Membres des niveaux Hiérarchiques de chaque « Dimension »

Les tables ont été stockées dans un système de base de données relationnel MYSQL Server. On parle de système ROLAP pour Relational OLAP.

IV.2.3.i. Chargement des « tables de Dimension »

Chaque table de Dimension va contenir l'ensemble des Membres qui la définissent. Chaque Membre de chaque niveau hiérarchique d'une Dimension est désigné par une clé d'identifiant unique et d'un libellé textuel ; la clé d'identifiant sera l'élément qui sera utilisé pour faire la jointure avec la table des Faits (il est important que cet identifiant soit unique).

Suivant l'architecture de la Dimension « en étoile » ou « en flocons » alors il sera nécessaire de créer une ou plusieurs tables. Pour l'architecture « en étoile » les Membres du niveau hiérarchique le plus fin et des niveaux hiérarchiques agrégés de la Dimension sont stockés dans la même table. C'est le cas par exemple de la Dimension « Portefeuille » du modèle sur l' « Evaluation des portefeuilles » dont la hiérarchie comporte trois niveaux : « Contrat », « Segment Portefeuille », « Tous les portefeuilles ». Le tableau 14 montre un extrait du contenu de la table de Dimension « Portefeuille ».

Id_contrat	Libelle_contrat	Id_segment_ptf	Libelle_ptf	Id_tous	Libelle_tous
12345789	« Contrat 1 »	MRP	« Multirisque professionnel »	TOUS	« Tous les portefeuilles »
12342355	« Contrat 2 »	MRH	« Multirisque habitation »	TOUS	« Tous les portefeuilles »
23341345	« Contrat 3 »	MRI	« Multirisque industriel »	TOUS	« Tous les portefeuilles »
…	…	…	…	…	…

Tableau 14 - Illustration du chargement de la table de Dimension « Portefeuille »

Dans une Dimension en « flocons », il y a une table par niveau Hiérarchique. En effet on distingue par exemple pour la Dimension « Géographie » sur la « Hiérarchie Administrative » pour le Cube sur l' « Evaluation de la pertinence des mesures préventives » cinq niveaux hiérarchiques : « Ilôt », « Commune », « Département », « Région », « France entière ». Le tableau 15 présente les tables constituant la dimension « Géographie » selon la hiérarchie administrative.

Id_ilot	Libelle Ilot	Id_ commune
12345789	« Ilot 1 »	06600
22313244	« Ilot 2 »	06600
…	…	…

Id_commune	Libelle Commune	Id_ departement
06600	« Antibes »	06
…	…	…

Id_departement	Libelle Commune	Id_ region
06600	« Antibes »	13
…	…	…

Id_region	Libelle	Id_france
13	« Provence Alpes Côte d'Azur »	TOUS
…	…	…

Tableau 15 - Illustration du chargement de la table de Dimension Géographie pour le modèle sur

Toutes les Dimensions doivent ainsi être chargées puis configurées à partir de l'interface JMAP-SOLAP depuis le module « Administration des cubes ». Chaque Dimension sera créée en se connectant avec les tables de Dimension. Ensuite si la Dimension est « spatiale » alors on associera les objets géométriques des couches géographiques configurées dans JMAP-SOLAP.

La suite du chargement du Cube consiste à charger les tables de « Faits ».

IV.2.3.ii. Chargement des « tables de Faits »

Le chargement des tables de « Faits » consiste à puiser dans les résultats des prétraitements réalisés dans l'étape précédente et à exécuter des boucles algorithmiques pour parcourir l'ensemble des combinaisons possibles des « Membres » des « Dimensions ». Pour chaque combinaison des Membres les plus fins de chaque Dimension on va calculer les valeurs des Mesures correspondantes à chaque modèle. Les calculs des Mesures sont faits sur la base des résultats des opérations topologiques réalisées précédemment (« Traitements des données ») mais aussi sur la base de requêtes SQL vers les bases intermédiaires ou encore via des opérations mathématiques pour les Mesures calculées à partir des résultats des autres Mesures (ex : Ratio S/C pour le modèle sur l'évaluation des portefeuilles).

Concernant les calculs des « Mesures Spatiales », tous les types n'ont pas été pris en compte dans la version actuelle de JMAP-SOLAP. Seul le type de mesure consistant à stocker les métriques (calcul de distance, de superficie, de surface) ont été pris en compte dans les prototypes ; calculs de surface des parcelles cadastrales comprises en zone Inondable en zone réglementaire d'un PPR. Pour les « pointeurs spatiaux » les calculs n'ont pas été réalisés dans le cadre des prototypes mais il s'agit de la liste des pointeurs vers les objets géométriques résultants de la combinaison des Dimensions. De même que la mesure concernant les nouvelles formes géométriques créées ; il s'agit de l'ensemble des coordonnées géographiques d'une nouvelle forme géométrique résultant des analyses topologiques à partir des combinaisons des Membres des Dimensions.

Une fois les Faits détaillés calculés il convient de réaliser les agrégations. Dans la version de JMAP-SOLAP utilisée les agrégations sont stockées dans la table des Faits. Au contraire, certaines applications OLAP font les calculs d'agrégation à la volée depuis l'interface utilisateur ; dans ce cas la table des Faits ne contient que les Faits détaillés. Les calculs d'agrégations reposent aussi sur une mécanique de boucles imbriquées pour parcourir l'ensemble des Membres des niveaux hiérarchiques de chaque Dimension. L'agrégation se fait via des requêtes SQL sur la table des « Faits » par le biais d'opérateurs arithmétiques intégrés type « COUNT », « SUM », « MAX », « MIN » et des fonctions « GROUP BY ». La figure 79 présente les boucles imbriquées utilisées pour agréger les Mesures des Faits du modèle sur l' « Evaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés ».

```
Pour chaque attribut niveau de la dimension Temps (i) {
Pour chaque attribut niveau Scénario Inondation (j) {
        Pour chaque attribut niveau Typologie de bien (k){
                Pour chaque attribut niveau Bassin Versant (l){
                        Pour chaque attribut niveau Zonage PPR (m){

« Calculs agrégats » {
SELECT SUM(nbre_lieux_risque) AS somme_lieux_risque, SUM(montant_sinistre) AS somme_sinistres ,
SUM(montant_prime) AS somme_primes, SUM(montant_biens) AS somme_biens, SUM(montant_dommages) AS
somme_dommages
FROM
table_faits, dim_portefeuille, dim_temps, dim_scenario_inondation, dim_typologie_bien, dim_bassin_versant,
dim_zonage_ppr
WHERE
table_fait.id_annee = dim_temps.[niveau Temps(i)] AND table_fait.id_periode_retour =
dim_scenario_inondation.[niveau Scénario Inondation(j)] AND table_fait.id_detail_bien = dim_typologie_bien.[niveau
Typologie Bien(k)] AND table_fait.id_bassin_versant = dim_bassin_versant.[niveau Bassin Versant(l)] AND
table_fait.id_zone_ppr = dim_zonage_ppr.[niveau Zonage_PPR(m)]
GROUP BY
dim_temps.[niveau Temps(i)], dim_scenario_inondation.[niveau Scénario Inondation(j)], dim_Typologie_Bien.[niveau
Typologie Biens(k)], dim_bassin_versant.[niveau Bassin Versant(l)], dim_zonage_ppr.[niveau Zonage PPR(m)]
}
Pour chaque enregistrement de « Calculs agrégats »{
        Fait.nbre_lieux_risque = somme_lieux_risque
        Fait.montant_prime = somme_primes
        Fait.montant_sinistre = somme_sinistres
Fait.montant_biens = somme_biens
Fait.montant_dommages = somme_dommages
        Fait.pointeur_lieux_risque = merge_liste(liste_totale_lieux_risque, liste_courante_lieux_risque)
INSERT « Fait » INTO table_faits
}
```

Figure 73 – Illustration des boucles imbriquées pour calculer les agrégations des Faits du modèle sur l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés

Une fois les tables de Faits chargées dans l'environnement relationnel (MYSQL) pour chacun des modèles étudiés (« Evaluation de la pertinence », « Evaluation de l'efficacité », « Evaluation des portefeuilles ») alors il est nécessaire de paramétrer et restituer les résultats dans l'interface de restitution JMAP-SOLAP. Le sous-chapitre suivant présente l'étape de restitution des Cubes SOLAP.

IV.3. Etape 3 : Restitution des résultats

Les Cubes SOLAP sont le résultat de traitements complexes intégrant à la fois des traitements géographiques et non géographiques. L'ensemble des Faits calculés reposent sur une modélisation réalisée en accord avec la représentation mentale que se font les décideurs et les analystes de la problématique. La dernière étape consiste à restituer le contenu de ces Cubes dans une interface cohérente de façon à ce que l'utilisateur puisse se concentrer exclusivement sur l'analyse et pas sur la façon de faire les requêtes pour obtenir les résultats. Il doit pouvoir

générer rapidement des vues de synthèses, des vues détaillées, des vues graphiques, cartographiques et tabulaires avec la sémiologie la plus appropriée.

Cette étape constitue la dernière étape de la démarche d' « Implémentation ». Il s'agit de montrer en quoi la configuration d'une interface de type JMAP-SOLAP permet de répondre aux besoins d'analyse des décideurs sur la problématique des risques naturels dans le secteur de l'assurance. Pour chaque modèle on montrera des exemples de navigation possibles en illustrant à partir des premiers prototypes exploratoires réalisés sur JMAP-SOLAP, puis on montrera que l'interface permet d'envisager des actions concrètes au niveau métier pour répondre concrètement à la problématique. La figure 80 montre le positionnement de l'étape de restitution des résultats dans la démarche d'Implémentation.

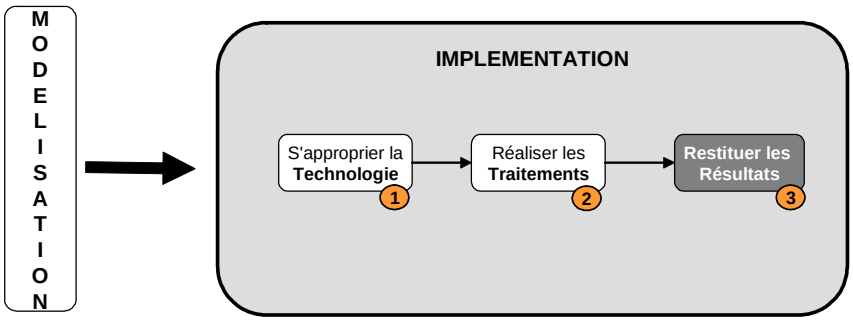


Figure 74 – Etape de « Restitution des résultats » dans la démarche d'Implémentation

Comme présentée dans le sous-chapitre sur l'appropriation de la technologie JMAP-SOLAP, l'interface de visualisation permet de combiner des vues Cartographiques, Graphiques et Tabulaires dans une seule et même interface. Il s'agit maintenant de montrer de quelles façons ces vues peuvent être combinées pour l'analyse et l'exploration des indicateurs.

IV.3.1. Restitution du modèle sur l' « Evaluation de la pertinence des mesures préventives »

L'objet de ce modèle est de permettre à l'utilisateur d'augmenter la visibilité sur l'état d'avancement des mesures préventives en comparaison avec le degré d'exposition aux inondations et des catastrophes passées pour l'ensemble des communes du territoire. Le prototype exploratoire a été réalisé sur la région Provence Alpes Côte d'Azur. Par extension on verra qu'il est pertinent de pouvoir naviguer à des niveaux administratifs plus agrégés pour faire des synthèses notamment au niveau national. Dans un premier temps seront présentés des exemples de navigation possibles puis dans un second temps les choix possibles d'action à envisager sur un plan opérationnel.

IV.3.1.i. Exemples de navigation SOLAP

L'outil de restitution doit permettre de répondre aux objectifs d'analyse que s'était fixé le travail de Modélisation. Dans le cadre de l'évaluation de la pertinence des mesures préventives l'objectif était de pouvoir identifier les entités géographiques administratives pour lesquelles on constate un décalage entre l'avancement des procédures réglementaires sur la prévention et le degré d'exposition des logements individuels, collectifs et professionnels. Les risques que l'on souhaite analyser sont les communes ayant connu des arrêtés catastrophes naturelles et/ou des logements situés en zones inondables et des PPR en retard en terme de réalisation (non approuvés : prescrits ou non prescrits).

Le niveau géographique le plus fin de l'analyse est l'îlot INSEE de la Base Profile Habitat. La cartographie doit permettre à l'intérieur de la région de visualiser les communes correspondant aux critères sélectionnés dans les différentes Dimensions du cube ; « Intersect Zone Inondation » (Exceptionnelle, Fréquente, Très fréquente), « Habitat » (Individuel, Collectif, Professionnel), « Avancement PPR » (Absence, prescrit depuis moins de 4 ans, depuis plus de 4 ans, approuvé), « Arrêtés Catnat » (Avec arrêtés depuis plus de 5 ans, avec arrêtés depuis moins de 5 ans), « Temps » (Les années depuis 1982 jusqu'à maintenant) et « Géographie » selon le découpage administratif (« Ilots INSEE », « Commune », « Département », « Région »).

Etant donné que l'utilisateur doit suivre plusieurs Mesures, à savoir le « nombre d'îlots », le « nombre de logements », le « nombre d'arrêtés Catnat », il est possible grâce à l'interface de cumuler à l'intérieur d'une même carte plusieurs thématiques afin de pouvoir visualiser rapidement la répartition des valeurs sur le territoire. Une première thématique pour visualiser les communes n'ayant pas de PPR prescrit, ayant pourtant connu des arrêtés Catnat inondation et ayant des logements situés en zones inondables. La Mesure utilisée pour la thématique sera le « nombre de communes » avec l'utilisation d'un changement de couleur des polygones en fonction de la valeur (« 1 » la commune répond au critère, « 0 » elle ne répond pas). Une deuxième thématique pourra être utilisée sur la même carte pour mesurer le « nombre de logements » calculés en agrégeant les proportions des surfaces des îlots INSEE intersectées par les polygones de zones inondables. On superposera un graphique (camembert, histogramme) sur chaque polygone « Commune » basé sur la mesure du « nombre de logements »; cela montrera la répartition par type de logement (« collectifs », « individuels » ou « professionnels »). A ce stade l'utilisateur pourra rapidement observer sur une même carte et dans un même temps si la commune répond ou pas aux critères de recherche sur le retard dans l'avancement des PPR et la répartition des logements inondables par type de logements.

Pour gagner encore plus de temps dans l'analyse une troisième thématique peut figurer sur la carte pour suivre le « nombre d'arrêtés Catnat ». Cette fois il est possible de jouer sur la trame de fond des polygones « Commune ». Ainsi plus le nombre d'arrêtés Catnat est important et plus la trame choisie sera densifiée (densité de rayures, grosseur des symboles, densité des pointillés, etc.).

La génération de ce type de cartes « multi-thématiques » se fait en quelques secondes seulement en sélectionnant les Membres des Dimensions soit au niveau le plus fin soit à des niveaux hiérarchiques plus élevés. Le temps de réponse est lié aux propriétés de la structure spatiale multidimensionnelle qui stocke les résultats déjà pré-calculés. Le choix d'ajouter les thématiques les unes aux autres est à la main de l'utilisateur qui pourra facilement les activer ou les désactiver.

Par ailleurs si l'utilisateur souhaite analyser sur d'autres critères comme par exemple les classes de fréquence de la dimension « Intersect Zone inondation » (« Fréquente », « Très Fréquente », « Exceptionnelle ») alors l'utilisateur pourra afficher simultanément dans la même fenêtre plusieurs cartes chacune correspondant à un membre d'une dimension. En un coup d'œil l'utilisateur pourra voir la concentration des logements par classe de fréquence avec une carte thématique pour chaque classe (« Très fréquente », « Fréquente », « Exceptionnelle »). Il pourra aussi comparer la distribution de la mesure « nombre d'arrêtés Catnat » avec la mesure « nombre de logements ». La déclinaison « multi-cartes » peut présenter un intérêt aussi pour les type de logements de la Dimension « Habitat » (« individuels », « collectifs », « professionnels ») afin de déterminer quels sont les segments de clients pour lesquels on observe le plus de retard. A l'aide de ce mode de génération de carte il sera possible de visualiser si une tendance se dégage en termes de concentration géographique des logements inondables à l'intérieur des départements, ou une concentration d'arrêtés Catnat ou encore de PPR non approuvés. Le mode multi-carte peut être utilisé de la même manière pour les mesures : à une carte correspond une mesure. Cela permet de voir rapidement si des corrélations spatiales existent entre les logements inondables, les arrêtés catnat et l'avancement des PPR.

En complément des cartes, dans la même fenêtre l'utilisateur peut générer des graphiques et des tableaux représentant les thématiques choisies. Il est possible de synchroniser l'affichage de telle sorte que lorsqu'on change la sélection des membres des dimensions ou d'une mesure alors la mise à jour se fait simultanément sur tous les états.

La figure 81 montre l'interface SOLAP d'interrogation du Cube sur l' « Evaluation de la Pertinence des mesures préventives ». On peut observer un tableau listant l'ensemble des îlots Iris de l'INSEE des Alpes Maritimes et les résultats des valeurs des nombres de logements en zone inondable pour les communes ayant des arrêtés Catnat publiés depuis moins de cinq ans. Dans la même fenêtre a été généré un histogramme montrant la répartition des logements au regard du type de zone inondable (Exceptionnel, Fréquent, Rare, Très Fréquent). Toujours à l'intérieur de la même fenêtre figure une cartographie combinant à la fois des camemberts sur la répartition par type de logements (Individuels, Collectifs, Professionnels) superposés à une carte thématique mettant en évidence les communes concernées par la sélection des Membres des Dimensions. La génération de ces graphiques fut quasiment instantanée puisqu'il suffit juste de sélectionner les Membres des Dimensions et les Mesures, choisir ce que l'on veut mettre en « colonnes » et en « rangées » puis de générer les graphiques à partir de la barre d'outils SOLAP.

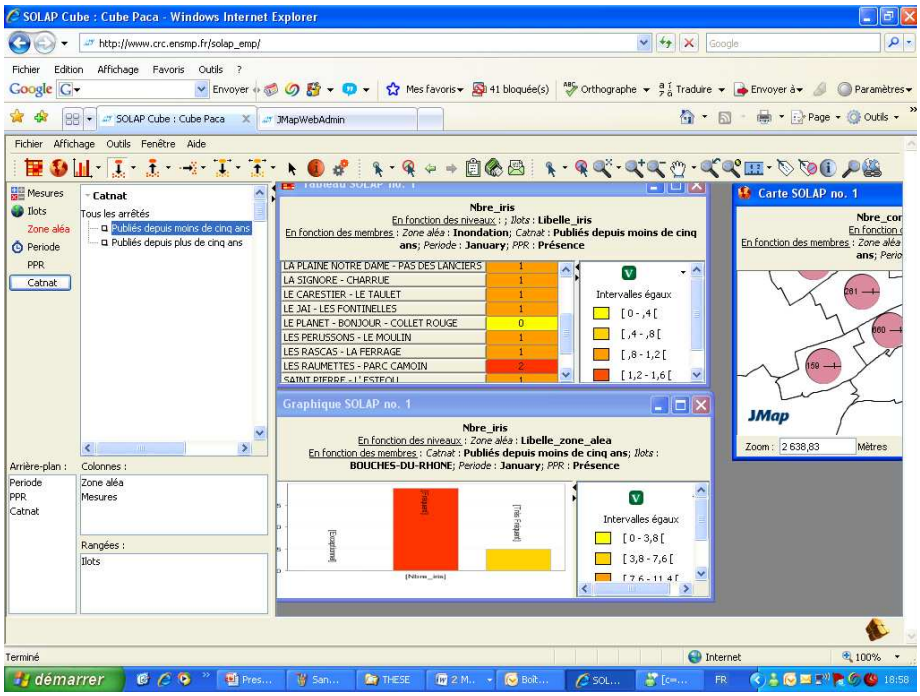


Figure 75 – Exemple de combinaison de graphiques, cartographies et de tableaux pour analyser la situation de l'exposition et de l'avancement des PPR pour les communes du département des Bouches du Rhône.

A l'aide de la glissière temporelle l'utilisateur va pouvoir faire varier dans le temps les mesures et donc l'affichage cartographique, graphique ou tabulaire généré par l'utilisateur au cours des ces analyses. Depuis la Dimension « Ilots INSEE», il sera notamment possible de constater quels sont les « Départements » ayant le plus ou le moins progressés au fil des années dans la mise à niveau des PPR des communes (hiérarchisation sur le nombre de communes concernées par la sélection des membres des dimensions). En superposant les cartes on peut observer l'évolution des zones géographiques les plus risquées au regard de la problématique (pas de PPR, des Catnat survenues et des logements inondables), et on pourra notamment remarquer les zones où la progression de la mise en application des mesures préventives est nette.

L'analyse sous forme de courbes pour observer l'évolution des valeurs dans le temps est pertinente pour confirmer des hypothèses. On pourra par exemple suivre l'évolution du nombre d'arrêtés Catnat pour les communes n'ayant pas de PPR approuvés année par année et de voir si ce nombre diminue de façon significative d'année en année et ce par département puisqu'il s'agit de l'échelle administrative du pilotage de la mise en œuvre des PPR. Il est intéressant pour l'utilisateur de s'assurer que les PPR approuvés chaque année concernent bien par ordre de priorité les communes les plus exposées en nombre de logements inondables et en degré de survenance d'arrêtés Catnat.

En naviguant dans les niveaux hiérarchiques des Dimensions il est possible de simplifier l'analyse en généralisant certains critères au lieu de les détailler ; en effet si on ne veut pas tenir compte de l'état d'avancement des PPR mais juste suivre l'évolution des arrêtés catnat

ou bien analyser uniquement le nombre de logements inondables sans tenir compte de l'avancement PPR alors on peut sélectionner « Toutes les étapes d'avancement » dans la dimension « PPR » et ainsi on ne filtrera ni sur l'absence ni sur la présence des PPR approuvés ou prescrits.

Par ailleurs sur la Dimension géographique « Ilot » la sélection des niveaux administratifs agrégés depuis le niveau « Ilot INSEE » jusqu'au niveau « France entière » permet d'analyser les résultats sur les différents échelons administratifs responsables de la mise en place de la politique de prévention. Ces exemples de navigation permettent de répondre à un besoin métier du secteur de l'assurance d'évaluer la pertinence et la cohérence de la mise en œuvre de la politique de prévention sur le territoire au traves des PPR. Il convient désormais de montrer que ce type d'interface peut être un support à des actions opérationnelles concrètes.

IV.3.1.ii. Les apports métiers potentiels de l'interface

L'évaluation des degrés d'exposition des logements en relation avec la survenance de catastrophes naturelles et la réalisation des PPR est à la charge des pouvoirs publics et ce pour chaque échelon de l'administration territoriale ; au niveau du maire de la commune pour l'avancement de la procédure de réalisation du PPR, au niveau du préfet du département pour ce qui concerne le pilotage et la mise en œuvre du dispositif sur l'ensemble des communes à risque du département, enfin au niveau du MEEDDAT (DPPR) pour ce qui concerne le financement global et le suivi du dispositif au niveau national. Les professionnels de l'assurance sont en droit de donner un avis critique sur les choix et sur l'avancement des mesures préventives. Mais cette discussion peut se faire avec les pouvoirs publics uniquement en reposant sur des faits inconstestables. L'interface SOLAP offre la possibilité de générer des états reposant sur des données numériques, mesurables et par conséquent intégrables dans des supports de discussion adaptés pour les différents interlocuteurs administratifs (maire, préfet, direction de l'environnement du MEDADD). Cela permet de contribuer à donner un avis critique sur les modalités d'avancement des procédures et ce à chaque échelon administratif territorial en charge de faire le suivi et la gestion des enveloppes budgétaires.

La hiérarchisation des communes ou des départements sous forme de tableaux permet de cibler et de prioriser les zones géographiques pour lesquelles il faudra entreprendre des actions de concertation avec les pouvoirs publics : maires de communes, préfets, direction de la prévention des risques naturels du MEDADD. Cela fournit des éléments de pré-diagnostic avant d'approfondir les études et de savoir quelles sont les causes réelles de la non approbation des PPR pour les communes cumulant à la fois un fort degré d'expositions des logements (nombre important de logements inondables) et un fort nombre d'arrêtés Catnat.
L'interface SOLAP pour ce modèle peut donc servir de support de communication partagé au niveau institutionnel entre l'ensemble des compagnies d'assurance, les représentants institutionnels des professionnels du secteur (FFSA et GEMA). Ces supports offrent des représentations ergonomiques multiples et variées ce qui confère une interactivité forte et de la souplesse dans la mise en forme des supports d'échange [Mc Hugh et al., 2006].

Le modèle ci-dessus est un pré-requis pour le modèle sur l'analyse de l'efficacité des PPR à l'intérieur des communes à risque. L'identification des communes suivant les critères

d'exposition et de survenance de Catnat est un préalable pour se focaliser ensuite sur la réalité de la mise en application des PPR dans la politique d'urbanisme à l'intérieur des communes les plus exposées. C'est l'objet du deuxième modèle sur l' « Evaluation de l'Efficacité des mesures préventives ».

IV.3.2. Restitution du modèle sur l' « Evaluation de l'efficacité des mesures préventives »

Comme pour le modèle précédent, l'objectif est de montrer en quoi l'interface SOLAP développée pourrait être bénéfique pour les professionnels de l'assurance dans leur analyse de la problématique de l'efficacité des PPR à l'intérieur des communes à risque. On distingue dans un premier temps les exemples de navigation SOLAP puis les apports métiers de cet outil. Le prototype réalisé a mobilisé les données relatives à la ville d'Orléans : cadastre numérisé, plan de zonage réglementaire numérisé et l'Atlas des Zones Inondables pour le bassin versant de la Loire moyenne. Les résultats obtenus ne sont pas exhaustifs mais représentent juste des exemples de navigation possible dans l'outil.

IV.3.2.i. Exemples de navigation SOLAP

L'objectif du modèle sur l'efficacité des mesures de prévention est d'avoir plus de visibilité sur l'efficacité des PPR au niveau de la régulation de l'urbanisme dans les zones géographiques à risques à l'intérieur des communes. Il s'agit de naviguer de façon intuitive dans les données d'urbanisme afin d'identifier plus clairement la nature des constructions ou des chantiers de permis de construire dans les zones d'aléas et/ou dans les zones réglementées par les PPR (zones rouges pour l'interdiction et les zones bleues pour les prescriptions). L'idée sous jacente est de pouvoir quantifier et qualifier au travers d'une notation l'efficacité d'un PPR ; ainsi on essaiera via l'interface de vérifier qu'il n'y a pas de nouvelle construction dans les zones d'interdiction (nouveaux permis de construire en zone rouge) et qu'il y a bien adéquation entre le zonage de l'aléa inondation et le zonage réglementaire du PPR (qualité du zonage).

Un troisième axe d'étude résultant des deux premiers est de suivre l'évolution dans le temps de la densité de constructions existantes en zone à risque en fonction de l'adéquation ou non de l'aléa et du PPR. Les zones bleues de prescription sont aussi intéressantes dans ce cas pour évaluer si la densité de construction augmente ou reste stable.

Au travers de l'interface SOLAP l'utilisateur peut sélectionner les Mesures des « surfaces analysées », « le nombre de permis de construire », « la densité de permis de construire » par rapport à « la surface analysée ». L'utilisateur peut générer les états cartographiques et graphiques nécessaires à l'analyse en sélectionnant : l'état d'avancement des permis de construire dans la dimension « Statut bâti » (« autorisé », « en cours de construction », « construit »), le « Type construction » (maçonnerie, béton, bois, etc.) le type de « Intersect zone PPR » qu'il souhaite étudier (« rouge », « bleue » ou « autres »), le type de « Intersect Zone Inondation » (classe de fréquence inondation « Exceptionnelle », « Fréquente », « Très fréquente »), le filtre sur l'analyse d'adéquation des zonages inondation et PPR dans

« Comparaison PPR-Aléa » (AZI > PPR pour les zones dans lesquelles l'aléa surestime le PPR, AZI < PPR pour les zones dans lesquelles l'aléa sous estime le PPR, l'AZI = PPR pour lesquelles l'aléa et le PPR sont en adéquation), enfin la Dimension « Temps » permet de constater l'évolution dans le temps. L'utilisateur va pouvoir générer des cartes thématiques en utilisant les styles des objets géométriques, les graphiques superposables aux objets géométriques ou encore les graphiques purs et les tableaux à partir des résultats obtenus sur les parcelles cadastrales et les surfaces analysées résultant de la sélection des critères. Pour la sélection des critères « zone rouge » pour le zonage réglementaire, « maçonnerie » pour le type de construction, « autorisation » pour l'étape d'avancement du permis de construire, pour la commune d'Orléans », « AZI = PPR » pour l'analyse du zonage Aléa PPR, « Fréquence Exceptionnelle » pour le zonage inondation et l'année 2007 pour la Dimension « temps » alors la carte thématique générée mettra en évidence les parcelles répondant à ces critères.

A l'aide de la Dimension « Avancement PC » on peut facilement distinguer les nouvelles constructions (« A bâtir ») et les constructions existantes (« Bâti »). L'intérêt de cette distinction est que l'on peut observer les constructions de deux façons : repérer les anomalies sur les nouvelles constructions (essentiellement celles ayant fait l'objet de nouvelles autorisations de permis de construire en zone rouge) et d'autre part suivre l'évolution de la densité de construction dans les zones bleues (constater l'ampleur de la densité de construction existantes en zone réglementaires avec tous les permis de construire déjà réalisés). Pour ce qui concerne l'analyse des nouvelles constructions il est pertinent de pouvoir rapidement identifier les anomalies concernant les permis de construire attribués dans les zones rouges de communes ayant des PPR approuvés. Pour cela l'utilisateur va cibler les membres à sélectionner dans les dimensions (« zone rouge », « année 2007 », « autorisation », « Commune d'Orléans », pas de sélection sur l'adéquation Aléa-PPR) et générer une carte thématique mettant en évidence les polygones des parcelles cadastrales concernées. La mise en évidence peut se faire grâce à la coloration du polygone de chaque parcelle (« jaune » pour les parcelles en zone rouge avec de nouvelles constructions et « vert » pour les parcelles en zone rouge n'ayant pas de nouvelle construction).

A l'aide de la glissière temporelle il sera possible de suivre l'évolution des nouvelles constructions mois par mois ou année par année du PPR suivant le niveau de granularité de l'échelle temporelle. La confrontation des hypothèses peut se faire via la génération d'une courbe ou d'un histogramme présentant l'évolution dans le temps du nombre de permis de construire pour chaque type de zone réglementaire. La glissière temporelle permet d'observer l'évolution de la densité dans le temps en synchronisant les cartes thématiques générées et les tableaux et graphiques associés. Les graphiques comme les multicartes pourront être utilisés afin de décliner l'analyse par type de bâti (« Maçonnerie », « Béton », etc.) ou par type de zone (« Rouge », « Bleue », « Autre »), par étape d'avancement du chantier (« Autorisé », « En chantier », « Construit »). Pour des niveaux hiérarchiques comme les « Communes » ou les « Départements » il sera pertinent de superposer les graphiques de type camemberts ou histogramme pour permettre à l'utilisateur de rapidement voir les valeurs agrégées des mesures obtenues sur toutes les parcelles du territoire.

Concernant l'analyse des constructions existantes, il s'agit d'étudier de façon plus globale l'évolution dans le temps de l'urbanisation des zones à risque. La mesure concernée est la

« densité de constructions » c'est-à-dire le rapport entre « le nombre de parcelles » ayant un permis de construire et le total de « la surface analysée » en mètres carrés. La surface analysée est la somme des surfaces des parcelles résultantes de la sélection des membres de certaines dimensions du cube faisant référence à un traitement topologique comme par exemple : « AZI < PPR », « Zone rouge », classe de fréquence inondation « Exceptionnelle ». A l'aide d'une cartographie SOLAP sur ce type de mesure, l'utilisateur peut identifier rapidement les zones à risques ayant une forte densité de construction à l'intérieur de la commune.

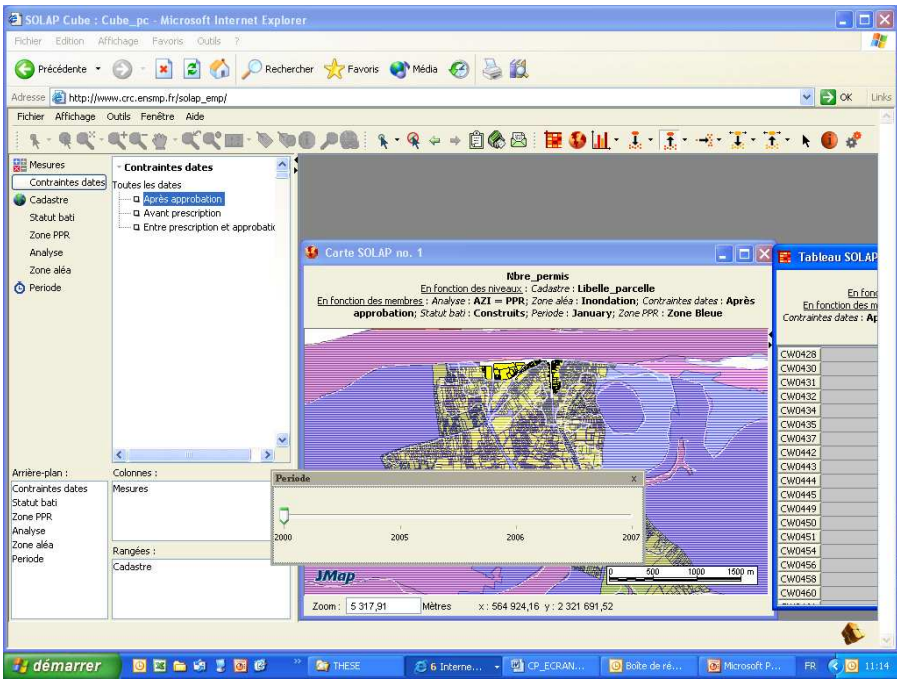


Figure 76 – Exemple de la restitution des parcelles cadastrales ayant un permis de construire avec la comparaison entre l'AZI et le zonage réglementaire

L'analyse de l'efficacité d'un PPR se juge aussi au travers de l'adéquation géographique entre le zonage de l'aléa inondation et le zonage réglementaire afin de s'assurer que toutes les zones géographiques de risque sont bien couvertes. C'est le rôle de la dimension « Analyse Aléa-PPR ». L'utilisateur peut s'intéresser à mesurer par commune la somme des surfaces où le zonage de l'aléa inondation surestime le zonage réglementaire (AZI > PPR) : cela signifie que la surface analysée est la somme de toutes les zones inondables non couvertes par le zonage réglementaire. Pour cela il faut sélectionner le membre « AZI > PPR » pour la dimension « Analyse Aléa PPR », sélectionner les communes du département que l'on souhaite analyser. Il sera préférable dans ce cas d'enlever tous les filtres possibles des autres dimensions en généralisant la sélection au niveau le plus global : « Tous les types de bâti », « Toutes les étapes de permis de construire ». A l'aide de la superposition de graphiques comme les camemberts on pourra constater par exemple la répartition des surfaces par type de zone d'aléa (quelle surface non couverte pour la classe de fréquence inondation « Exceptionnelle », « Fréquente », « Très fréquente »). On pourra aussi hiérarchiser la liste des communes par département sur ce critère de mesure au travers d'une liste tabulaire.

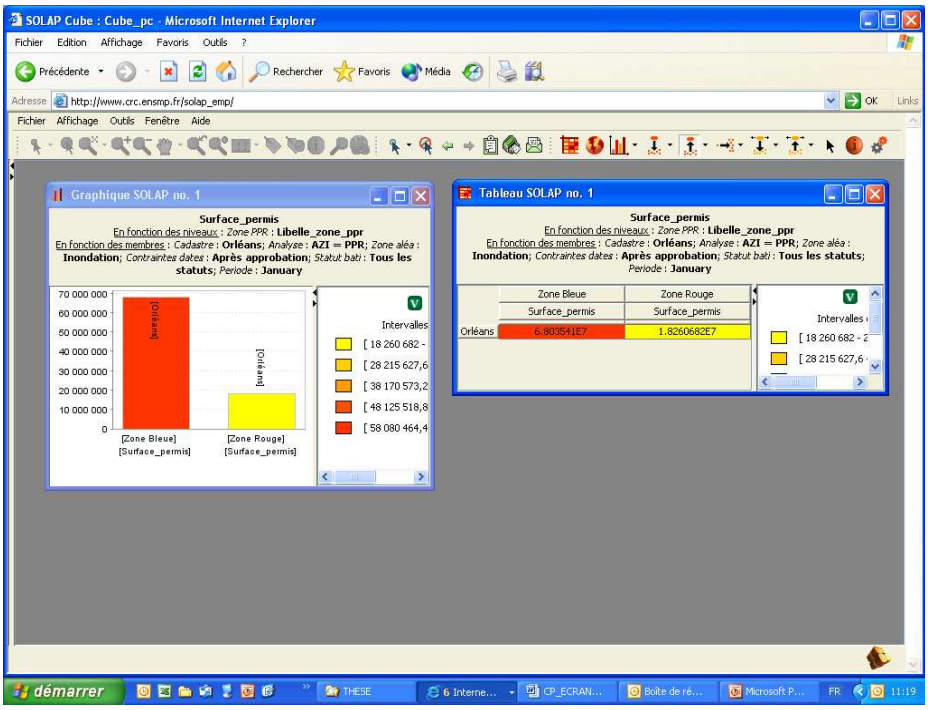


Figure 77 – Exemple Comparaison graphique des surfaces de parcelles cadastrales ayant un permis de construire autorisé avec la décomposition par type de zone PPR

En comparant les éléments détaillés ci-dessus au niveau « Commune » on peut obtenir un premier niveau d'évaluation de l'efficacité de chaque PPR approuvé. On peut considérer qu'une commune n'ayant pas de nouvelle construction en zone rouge et ayant une surface nulle obtenue en faisant la différence entre le zonage inondation et le zonage réglementaire aura un PPR de bonne qualité et efficace puisque la réglementation est bien appliquée. La généralisation jusqu'au niveau « France entière » permet d'obtenir un bilan global de l'efficacité des PPR en première approche.

L'interface SOLAP permet de combiner les cartes thématiques propres aux données et de superposer les couches d'informations géographiques telles que l'AZI ou encore le PPR numérisé sans que ces données soient directement reliées à la dimension géographique du cube. L'intérêt est de pouvoir analyser de façon plus détaillée les composantes géographiques du risque ; cela permet d'augmenter la lisibilité géographique sachant que les mesures du cube affichées sur la carte thématique sont brutes et ne mettent pas en relief l'environnement géographique local.

IV.3.2.ii. Les apports métiers potentiels

On distingue deux types d'usage de l'interface SOLAP pour ce modèle : un usage collectif entre les sociétés d'assurance et un usage individuel à chaque société.
Concernant l'usage collectif, comme pour le modèle précédent cette application permet de construire une plateforme de communication au niveau institutionnel pour les compagnies

d'assurance, la FFSA et le GEMA et les pouvoirs publics. Le but est d'améliorer l'efficacité des mesures réglementaires de prévention au travers des PPR. Le développement d'une meilleure connaissance des PPR auprès des assureurs permet de pré-diagnostiquer les zones présentant des anomalies. L'interface permet de présenter des résultats numériques, mesurables avec de la flexibilité dans l'ergonomie ce qui confère un support pour approfondir le diagnostic et l'analyse avec les pouvoirs publics (maires des communes concernées, préfets des départements et le ministère de tutelle) sur les raisons de la présence de ces anomalies. Les anomalies concernent l'adéquation du zonage réglementaire avec le zonage de l'inondation et la présence de constructions nouvelles en zone rouge.

Par ailleurs l'analyse de la densité des constructions dans les zones à risque est un élément important pour les professionnels de l'assurance pour mieux structurer leur propre politique de prévention et de souscription ; ce type d'interface contribue à identifier clairement les zones géographiques ayant une forte densité de construction et pour lesquelles il faudra augmenter la vigilance au moment de la souscription mais aussi informer en terme de prévention. C'est surtout le cas pour l'assurance dommage des entreprises pour lesquelles les conséquences financières d'une inondation peuvent s'avérer lourdes ; la prévention est un facteur important pour mitiger le risque et limiter les pertes. Le moyen de faire la prévention peut se faire via des plaquettes d'information pour les particuliers et les professionnels, via la visite sur site d'ingénieurs préventionnistes mandatés par la société d'assurance pour les entreprises ou encore via l'envoi de questionnaires. L'interface SOLAP permet de segmenter les zones suivant les critères portés par chacune des dimensions ; il est ainsi possible de prioriser les zones de souscriptions pour mettre en place la politique de prévention la plus optimale. La sensibilisation à l'inondation est différente en fonction du type de construction utilisé dans la zone à risque : la cartographie par type de bâti permet de sectoriser la campagne de prévention suivant ce critère.

Après avoir présenté les apports potentiels de l'interface SOLAP sur les modèles d'évaluation des mesures de prévention, il convient maintenant de présenter les apports de cette technologie pour les besoins individuels d'une société d'assurance en particulier. L'objet est de pouvoir analyser l'exposition financière d'une société au risque inondation.

IV.3.3. Modèle évaluation de l'exposition des portefeuilles assurés

L'objectif de ce prototype est de permettre à une société d'assurance de mesurer son degré d'exposition financière au risque d'inondation : estimation des dommages potentiels, rapport du montant des sinistres sur le montant des primes. Comme pour les modèles précédents, on va dans un premier temps montrer les exemples de navigations possibles au travers de l'interface SOLAP et dans un second temps les apports métiers potentiels.

IV.3.3.i. Exemples de navigation SOLAP

L'objectif du modèle est de permettre aux professionnels travaillant pour le compte d'une société d'assurance donnée (spécialistes en réassurance mais aussi des souscripteurs ou encore

des « préventeurs ») de visualiser rapidement les informations sur la nature des engagements financiers et des dommages potentiels pour la compagnie. L'interface SOLAP va permettre d'explorer les Dimensions Spatiales et les autres en accord avec le fonctionnement interne et la stratégie de la société. L'utilisateur va explorer au travers des cartes thématiques le « montant des dommages » potentiels, « le montant des sinistres » passés, le « montant des biens » assurés par « Portefeuille » suivant la segmentation propre à chaque société d'assurance (« multirisques industriels », « multirisques particuliers », « multirisques professionnels », « multirisques entreprises », « multirisques habitations », « multirisques immeubles »), par « Typologie de bien » (« constructions », « stocks », « marchandises », « mobiliers »), par « Scénario inondation » (périodes de retour 1/50, 1/100, 1/200) et par « Bassin Versant » (régions et secteurs hydrographiques). Lorsque l'utilisateur génère un état cartographique autour d'une des mesures comme le « montant des dommages » potentiels, alors s'afficheront les points correspondants aux lieux de risques assurés dans le ou les portefeuilles sélectionnés. Les résultats de ces analyses sont stockés dans le Cube. L'affichage des points se fait en quelques secondes ce qui dans un environnement transactionnel prendrait plusieurs minutes pour exécuter l'ensemble des requêtes à la fois topologiques et SQL permettant d'y aboutir.

Les thématiques sont comme pour les interfaces précédentes utilisées pour faciliter la lecture rapide des valeurs des Mesures du cube. Pour analyser les lieux de risque à l'intérieur d'un bassin versant on donnera une couleur différente aux points en fonction de l'intervalle des valeurs de la mesure concernée : pour la mesure « montant des dommages » on utilisera le vert jusqu'à rouge en passant par l'orange en ordre croissant d'importance des valeurs observées par lieu de risque.

Une deuxième thématique est ajoutée si l'on sélectionne « le montant des sinistres » passés. En complément de la couleur on peut ajuster la taille des points en fonction de l'importance de la valeur. Une troisième thématique sur la mesure « ratio sinistres/primes » peut être ajoutée en jouant sur la trame de fond de chaque point : plus la valeur du ratio est importante et les rayures à l'intérieur du point sont denses.

L'accumulation des thématiques peut devenir rapidement illisible ; c'est à l'utilisateur de gérer les modalités d'affichage afin de rendre la carte la plus parlante possible pour l'analyse. L'affichage multi-cartes peut être utile pour comparer la situation suivant plusieurs membres de la même dimension ; on pourra dans la même interface cartographique générer une carte pour chaque type de « Portefeuille » (« Multirisque habitation », « Multirisque industriel », « Multirisque entreprise », etc.) ou pour chaque « Typologie de biens » (« Construction », « Marchandises », « Stocks », etc.) et comparer la répartition géographique des dommages en observant la concentration et la dispersion géographiques des lieux de risque assurés.

La figure 84 montre un exemple d'une multi cartes généré à partir de l'interface SOLAP sur le Cube sur l'« Evaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés ». Chaque point correspond à un lieu de risque qui répond aux critères sélectionnés dans les Dimensions sur le scénario choisi (période de retour 1/100 ans) sur les types de constructions et sur tous les types de portefeuille. La multicarte va permettre d'observer la thématique sur les points sur la

Mesures des limites financières en jeu pour chaque lieu de risque et d'avoir dans une même carte la déclinaison par type de construction (« Béton », « Bois », « Maçonnerie »).

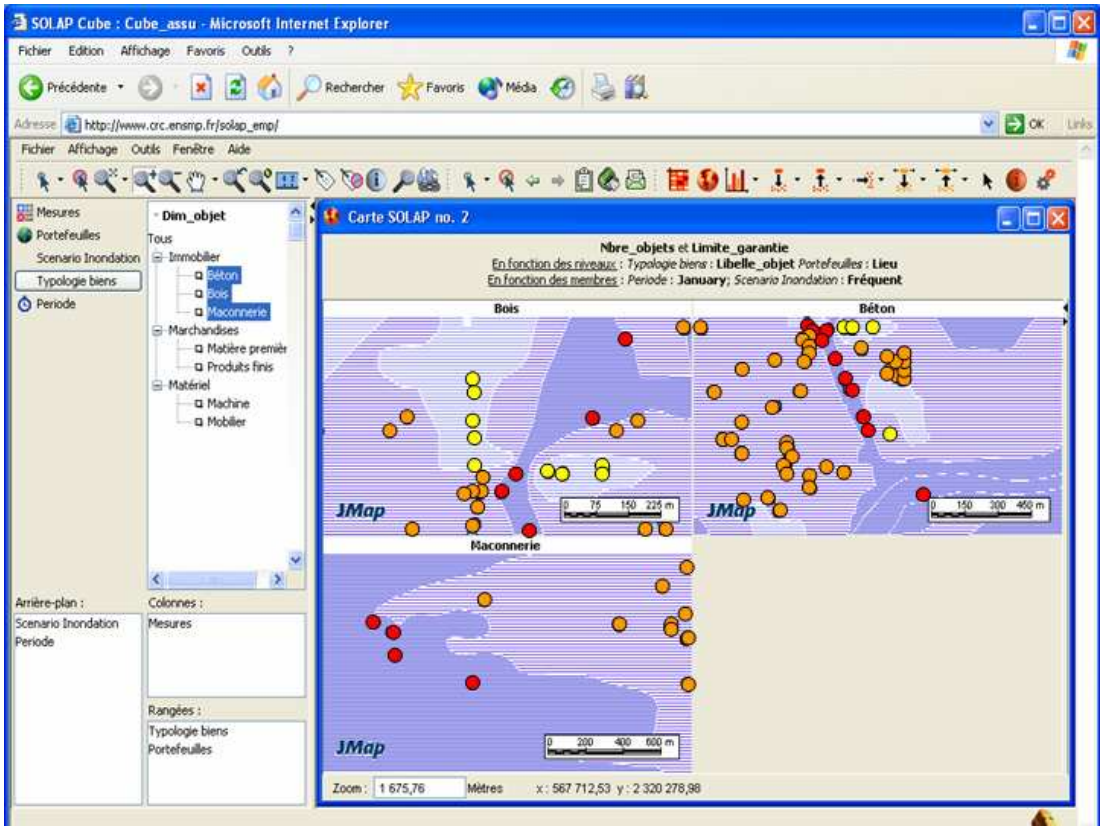


Figure 78 – Comparaison multicarte par type de bâti pour le scénario « Exceptionnel » et pour tous les portefeuilles

L'une des propriétés essentielles de ce modèle est de visualiser les dommages potentiels par scénario de crue. A l'intérieur d'un bassin versant on peut évaluer les montants des dommages selon la période de retour en sélectionnant une valeur dans la Dimension « Scénario Inondation ». Une période de retour faible permet de générer un scénario plutôt majorant (ex : 1/500), et inversement une période de retour élevée permet de générer un scénario minorant (ex : 1/20). On peut superposer à chaque lieu de risque un graphique de type histogramme ou camembert permettant de mettre en évidence le « montant des dommages » potentiels pour chaque scénario sélectionné ; un histogramme superposé à chaque point de risque rendrait compte de ces montants. L'utilisation du scénario inondation avec la période de retour la plus exceptionnelle (1/500) permet d'approcher le calcul de la valeur du SMP (Sinistre Maximum Possible) : l'agrégation de l'ensemble des montants des dommages potentiels pour chaque « Bassin Versant » et l'obtention des montants totaux sur tous les portefeuilles est une donnée très utile et pertinente pour les calculs de réassurance. En sélectionnant les scénarios moins « catastrophiques » avec des périodes de retour moins exceptionnelles alors on approche le calcul de la valeur du SRE (Sinistre Raisonnablement Escompté).

L'utilisation de la glissière temporelle permet d'observer la distribution géographique des lieux de risque souscrits dans les portefeuilles année par année ou mois par mois. En faisant varier les années et les mois, la physionomie de la carte va changer avec plus ou moins de lieux de risque à l'intérieur du bassin versant selon le volume d'affaires nouvelles et de remplacements des contrats.

La superposition de graphiques sur les objets géométriques comme les bassins versants à des niveaux agrégés a du sens pour rapidement analyser la répartition des mesures sur les membres des dimensions : à l'aide de camemberts et/ou d'histogrammes il est possible d'étudier pour chaque bassin versant la répartition des valeurs pour les membres des dimensions : par portefeuille, par type de biens, par scénario inondation, etc.

La consultation des données à des niveaux agrégés permet de calculer les dommages potentiels et la sinistralité pour tout le stock de contrats de l'entreprise d'assurance ; en comparant les chiffres par année, en faisant varier les scénarios dans l'interface, l'utilisateur va pouvoir en extraire des tendances, des hypothèses sur l'évolution de l'exposition financière. La mesure du ratio S/C (sinistres/primes) à des niveaux agrégés permet de voir rapidement les bassins les plus exposés : plus le ratio S/C est élevé et plus le risque sur le ou les portefeuilles est élevé puisque cela signifie que la part des sinistres est importante au regard des primes perçues. Une thématique peut être utilisée sur cette mesure calculée avec la variation de couleur du type « rouge » lorsque le ratio est élevé (proche ou supérieur à 1) et « vert » lorsque celui-ci est bas.

Le fait de pouvoir explorer de façon souple les axes d'analyse propres à l'organisation interne de la société d'assurance au travers de la dimension « Portefeuille » notamment et de pouvoir analyser suivant des informations sur les biens assurés mais aussi les conditions financières rattachées à ces lieux de risque et de pouvoir les confronter à des données relatives aux scénarios inondation, confère à l'interface un intérêt pour renforcer la maitrise technique du risque inondation dans la société d'assurance auprès de ses assurés.

IV.3.3.ii. Les apports métiers potentiels

Au travers des exemples de navigation décrits ci-dessus on perçoit que l'interface SOLAP offre de nombreuses possibilités pour visualiser les montants engagés par une entreprise d'assurance notamment en exploitant la composante géographique. Comme cela a été précisé précédemment, on se concentre sur les besoins propres à une société d'assurance dans la maîtrise de l'exposition de ses portefeuilles aux inondations. L'utilisation d'application de type SOLAP peut se traduire en des actions concrètes dans la réalité opérationnelle de l'entreprise. La visualisation sous forme cartographique des engagements par branche permet de constater bassin versant par bassin versant le degré de dispersion ou de concentration géographique des lieux de risques et donc par conséquent des biens et des montants financiers en jeu.

La gestion du risque en assurance oblige à diversifier les risques et à ne pas conserver des risques assurés sous l'exposition d'un même aléa ou d'un même événement. En fonction des

constats relevés dans les cartes, il pourra être envisagé de rééquilibrer zone par zone le nombre et les montants des biens engagés notamment par le biais de contrôles en amonts lors de la souscription : un souscripteur peut être informé sur le niveau des engagements financiers en zone inondable afin d'éviter de souscrire si les seuils de dommages potentiels sont trop concentrés dans la zone considérée. Cela passe par des extractions de cartes thématiques sur la mesure « montant des dommages » et « montant des biens assurés » par bassin versant pour alimenter un système d'aide à la souscription. Cette information peut être utile pour ne pas s'engager immédiatement sur des affaires nouvelles sans être conscient du niveau d'engagement local pour des zones à risque. Cela permet aussi d'adapter la stratégie de prévention : enquête de terrain, questionnaire, visite de risque sur site pour les contrats entreprise.

Un apport concret de ce type d'interface est de mieux évaluer les montants de couverture annuelle de réassurance. En connaissant de façon plus précise les engagements réels de l'entreprise sur chacune des branches (multirisques habitation, professionnels, industriels, immeubles, etc.) il est possible d'affiner les calculs des montants des risques que l'entreprise souhaitent assumer elle-même financièrement en provisionnant suffisamment (la rétention) et ceux qu'elle souhaite céder sur le marché de la réassurance en l'occurrence auprès de la CCR. Les graphiques et les cartes générées peuvent être des supports de communication fiables pour la négociation ; du fait de la faible visibilité des compagnies d'assurance jusqu'à présent ce sont les compagnies de réassurance (la CCR en France pour l'inondation) qui disposent seuls d'informations consolidées à partir des rapports de sinistralité communiqués par chaque société cliente dès lors que des catastrophes surviennent. Avec cette interface SOLAP, la société d'assurance dispose d'un outil permettant de générer des scénarios déterministes pouvant servir de base à la négociation. Même si la réassurance utilise plutôt des modèles probabilistes (génération stochastique d'événements) l'approche déterministe repose sur le caractère avéré de l'emprise géographique de l'aléa inondation. L'interface sert donc de support de négociation en exploitant des résultats tangibles et mesurables.

Un autre apport métier de ce type d'application serait de démontrer aux parties prenantes de l'entreprise d'assurance (actionnaires, investisseurs et collaborateurs) mais aussi aux instances financières européennes en charge de faire appliquer les directives européennes sur la solvabilité (Solvabilité II), que l'entreprise est capable de calculer les cumuls d'engagements financiers au regard de l'inondation et donc de garantir au regard de ces scénarios une solidité financière ; un niveau de solvabilité suffisant pour faire face à ce type de scénario. Cette application permet de mettre en place une méthodologie de calcul du SMP en prenant le scénario maximum pour tous les bassins versants ou alors le calcul du SRE en appliquant différents scénarios pour obtenir une appréciation plus réaliste de l'exposition annuelle.

Comme pour les modèles précédents l'utilisation de l'interface SOLAP est à la fois un support pour l'analyse, l'exploration de données pour faire émerger des tendances spatio-temporelles mais aussi un support de communication avec les parties prenantes de la problématique en l'occurrence ici concernant le financement interne et externe des phénomènes de crues.

IV.4. Conclusion du chapitre

L'objet de ce chapitre était d'une part de présenter la technologie SOLAP sur laquelle les Cubes de données des modèles ont été configurés et d'autre part d'expliquer en quoi consiste la chaîne de traitements mise en place pour extraire les données, calculer les valeurs des Mesures selon toutes les combinaisons de Dimensions et de charger l'ensemble des Faits dans chacun des Cubes constitués sur la base des modèles présentés dans le chapitre III. Enfin ont été présentés des exemples de navigation possibles offerts par les interfaces SOLAP sur ces Cubes de données pour chacun des prototypes et les actions concrètes pouvant en découler.

On a pu constater que la technologie JMAP-SOLAP est un exemple pertinent de ce qu'on appelle la technologie géodécisionnelle. En effet JMAP-SOLAP permet de configurer les Cubes reposant sur des modèles spatiaux multidimensionnels depuis une console web d'administration sans faire de programmation et permet de déployer l'interface d'analyse spatio-temporelle via la navigation dans des états cartographiques, graphiques et tabulaires à l'intérieur de clients web. Cette accessibilité sur le web permet de « démocratiser » l'accès à une population d'utilisateurs différentes des géographes, géomètres et autres cartographes capables de déchiffrer et d'analyser l'information géographique ; cela nécessite de bien penser la sémiologie graphique des cartes thématiques et des graphiques pour permettre une lecture cohérente et constructive de ces informations. Cela nécessite aussi d'afficher les métadonnées décrivant les caractéristiques des traitements et des données utilisées pour afficher les résultats : il s'agit d'informer l'utilisateur sur la qualité des données qu'il observe. La chaîne de traitements montre qu'il est nécessaire de mettre en place une véritable infrastructure technologique avec des processus d'ingénierie pour chacune des zones pour successivement : extraire les données, calculer les valeurs des Mesures via des requêtes topologiques et mathématiques et enfin organiser le stockage dans des Cubes SOLAP au sein d'un environnement ROLAP (structures relationnelles multidimensionnelles). Ces traitements, proches de ceux des outils dits « ETL » (Extract, Transform, Load), permettent de précalculer l'ensemble des indicateurs géographiques et non géographiques pertinents pour la problématique pour mettre à disposition des décideurs les résultats dans une structure de données multidimensionnelle. L'interrogation de ces résultats via une interface de type SOLAP permet d'afficher des états combinant cartographie, tableaux et graphique pour n'importe quelle combinaison de Membres de Dimension ce qui serait complexe via des SIG (Systèmes d'information géographique) reposant sur des systèmes de gestion de base de données relationnels.

Les exemples de navigation présentés dans ce chapitre montrent qu'il existe un éventail important de combinaisons possibles d'affichage utilisant à la fois la présentation sous forme de cartographies, graphiques, tableaux. Le fait de pouvoir synchroniser les différents types d'états, de générer des superpositions de graphiques (camemberts, histogrammes) sur les objets géométriques, de pouvoir générer des multicartes pour comparer entre eux plusieurs membres d'une même dimension, ou alors de générer des thématiques multiples sur un seul et même objet géométrique en combinant la couleur, la trame de fond ou encore les symboles démontre un fort potentiel d'analyse sur des gros volumes de données pour l'utilisateur-

décideur final. La visualisation permet de passer d'un mode de représentation à un autre et de pouvoir comparer les Mesures simultanément dans l'espace et dans le temps. On peut ainsi formuler et étudier des hypothèses relatives à la distribution géographique des lieux de risque figurant dans les contrats d'assurance ou au travers des logements inondables ou encore des hypothèses sur les retards dans la mise en place des mesures préventives. Au-delà des caractéristiques fonctionnelles des états générés par ce type d'interface, il est à préciser que les temps de réponse rapide d'affichage ainsi que la facilité de prise en main de l'interface permettent de donner la possibilité à l'analyste et/ou au décideur de se focaliser sur la prise de décision et s'affranchir des contraintes techniques.

Les premières conclusions sur les apports métiers montrent que ces interfaces SOLAP peuvent être un outil d'exploration et d'analyse mais aussi un support de communication et de négociation avec les parties prenantes de la problématique des risques naturels. En effet concernant les modèles sur la réalité de la pertinence et de l'efficacité des mesures préventives, les applications développées permettent d'offrir aux professionnels de l'assurance un support de communication sur la base d'indicateurs et de mesures tangibles pour dialoguer avec les pouvoirs publics. Concernant le modèles sur l'évaluation de l'exposition financière l'interface SOLAP est un support de communication vis à vis des instances européennes pour démontrer la solvabilité mais aussi un support à la négociation vis à vis des organismes de réassurance comme la CCR en charge de gérer la partie financière du risque cédée par la compagnie d'assurance ; celle-ci peut s'appuyer sur des données fiables et d'un outil offrant plus de lisibilité sur la nature de ses engagements financiers réels et non pas supposés.

Ce chapitre a ainsi montré qu'il y a un potentiel technologique et métier pour aider les professionnels de l'assurance à renforcer la maîtrise technique de la problématique des risques naturels vis à vis de l'ensemble de leurs interlocuteurs aussi bien en interne qu'en externe.

La dernière partie du manuscrit conclut la thèse en récapitulant le bilan des acquis, les limites à la fois technologiques et organisationnelles de cette approche et les perspectives que l'on peut envisager pour poursuivre le travail initié.

BILAN, LIMITES ET PERSPECTIVES

Ce travail de thèse constitue une contribution pour le secteur de l'assurance sur les réponses technologiques possibles permettant de mieux maîtriser et comprendre l'exposition aux risques naturels. La thèse constitue une approche prospective pour montrer que l'information géographique et non géographique sur les risques naturels est intégrable non seulement dans les systèmes d'information mais aussi dans les processus métiers des sociétés d'assurance.

Bilan sur les acquis de la thèse

Une offre incomplète pour couvrir les besoins « collectifs » et « individuels » du secteur de l'assurance

Tout au long du manuscrit on a pu constater que pour traiter la problématique de l'assurance des risques naturels il fallait nécessairement exploiter de l'information géographique. L'idée est de modéliser au mieux la réalité de la vulnérabilité c'est-à-dire de localiser les enjeux matériels, humains et financiers susceptibles d'être impactés par les aléas naturels. L'étude de la distribution géographique des enjeux et des aléas est un pré-requis indispensable pour l'analyse. On a pu voir que les besoins du secteur de l'assurance en France sur ce thème se décomposent en deux catégories : les besoins « collectifs » dont l'objet est de participer à une analyse objective permettant d'améliorer la politique publique de prévention pour l'intérêt général de la profession et des assurés, et les besoins « individuels » visant à optimiser au mieux les processus métiers d'une société d'assurance dommages depuis la souscription jusqu'à la négociation de traité de réassurance en passant par la gestion des sinistres. Après avoir fait un recensement des outils existants on s'est rendu compte que l'offre existante était incomplète puisque qu'en France aucun outil ne permet de répondre véritablement à ces deux grandes catégories de besoins identifiés tout au long du travail de thèse au sein des groupes de travail de la MRN mais aussi au regard des pratiques dans ce domaine dans les autres pays. L'état de l'art sur les outils disponibles a permis d'identifier trois catégories à savoir les outils d'inventaire sur les aléas servant de banques de données brutes géographiques sur les aléas naturels (zones inondables, zone de retrait et gonflement des argiles, zones sismiques, etc.), les outils de modélisation probabilistes permettant à partir de moteurs stochastiques de simuler un nombre important de scénarii de catastrophes naturelles sur des mailles géographiques et sur un portefeuille d'assurés donné (ces outils ne sont actuellement pas utilisés en France) et les outils de zonage et de diagnostic comme les services en ligne de la MRN pour géocoder et pré-diagnostiquer l'exposition d'un site.

Les sociétés d'assurance ont besoin de pouvoir faire des analyses sur les risques naturels dans l'espace, dans le temps, sur des indicateurs ayant plusieurs axes d'analyse à des niveaux détaillés comme à des niveaux de synthèse. Les données à mobiliser pour répondre à ces besoins sont souvent hétérogènes. La thèse s'est efforcée de démontrer le potentiel du géodécisionnel comme méthodologie et technologie pouvant répondre à ces attentes à partir de cette hétérogénéité des sources de données à mobiliser.

Les méthodes et les outils du géodécisionnel transposables à la problématique de l'assurance des risques naturels

La thèse a présenté de façon pédagogique les éléments constituants du « géodécisionnel » : les techniques de modélisation spatiales multidimensionnelles, la modélisation logique ainsi que les outils informatiques afférents. Le terme géodécisionnel est entendu comme le croisement de l'analyse géographique (« géo ») et de l'informatique décisionnelle (« décisionnel»). Une définition a été proposée dans le présent manuscrit dans la mesure où les fondements théoriques ne sont pas encore complètement stabilisés. Cette définition devra certainement être enrichie pour faire référence à cette discipline. Dans un premier temps il a fallu revenir sur les fondements de l'informatique décisionnelle (appelée « décisionnel ») en montrant son mode d'utilisation au sein des systèmes d'information des entreprises : c'est à dire offrir aux décideurs et aux analystes une interface cohérente regroupant des données hétérogènes provenant des systèmes d'information opérationnels.

La méthode de modélisation de données est multidimensionnelle c'est-à-dire reposant sur les concepts de « Dimension », de « Fait », de « Mesure » et de « Hiérarchie » pour être au plus près de la représentation mentale du décideur. On a pu voir que les systèmes d'information décisionnels reposent sur les caractéristiques des processus OLAP (Online Analytical Processing) avec des données pré-calculées, historisées, orientées par thème avec des utilisateurs peu nombreux mais amenés à faire des requêtes complexes et imprévisibles sur un volume important de données, tandis que les systèmes d'information opérationnels reposent sur les caractéristiques des processus OLTP (Online Transactionnal Processing) avec des données exhaustives, non historisées, orientées application, impliquant de nombreux utilisateurs faisant des requêtes prédéfinies. Une transposition de la méthode de modélisation multidimensionnelle a été faite sur l'exemple de l'évaluation de l'exposition aux inondations des sites assurés à partir des risques identifiés sur les communes dans lesquelles ceux-ci sont localisés. Au travers de cet exemple ne nécessitant aucun traitement d'information géographique, on a pu montrer que la modélisation multidimensionnelle est transposable sur un thème lié à la problématique de l'assurance des risques naturels en France. Le décisionnel se caractérise aussi par des outils de restitution comme des interfaces d'interrogation OLAP pour l'analyse permettant d'explorer les « Faits » et de naviguer dans les niveaux hiérarchiques des « Dimensions » mais aussi des interfaces de type Tableaux de Bord décisionnels avec des états figés sur des axes stratégiques pour le pilotage. On parle aussi de Cube ou d'Hypercube pour évoquer le stockage multidimensionnel des indicateurs calculés sous forme de Faits.

Dans un deuxième temps ont été présentés les fondements théoriques du géodécisionnel entendus comme un enrichissement du décisionnel en ajoutant la composante spatiale. Cet enrichissement se retrouve dans la modélisation spatiale multidimensionnelle avec l'ajout des « Dimensions spatiales » de différentes natures (géométriques, mixtes) et l'ajout de « Mesures » spatiales comme les pointeurs spatiaux, les métriques ou bien les objets résultants d'opérations géométriques. Un nouveau type de « Dimension » a été ajouté : « Dimension opérateur ». Ce type de Dimension fait référence à des opérations topologiques dont le résultat est une Mesure spatiale du Cube. Une transposition de la méthode de

modélisation spatiale multidimensionnelle a été faite en enrichissant le cas de l'évaluation de l'exposition des sites assurés incluant de l'analyse géographique avec notamment les intersections des sites assurés avec les zones inondables. Cette transposition montre que la modélisation spatiale multidimensionnelle est possible sur le thème de l'assurance des risques naturels. Par ailleurs, les interfaces de restitution permettent de naviguer au travers des indicateurs stockés dans les Cubes spatiaux multidimensionnels. La technologie Spatial OLAP fait partie ce cette catégorie d'interfaces ; c'est le choix technologique sur lequel s'est porté l'auteur tout au long de la thèse pour réaliser les expérimentations.

Par la suite, l'objectif était de se pencher sur des exemples plus complexes afin de montrer d'une part que la modélisation des données est possible et qu'une restitution géodécisionnelle est pertinente pour des professionnels de l'assurance. Deux phases distinctes ont été décrites : la modélisation de données (modélisation spatiale multidimensionnelle) et l'implémentation de prototypes exploratoires. Dans ces deux phases le travail a consisté à faire émerger une approche méthodologique d'ingénierie détaillant étape par étape la façon dont l'expérimentation a été menée.

La conception d'une démarche méthodologique de modélisation spécifique pour la problématique de l'analyse des risques naturels dans le secteur de l'assurance

La première phase de « Modélisation » consistait à structurer de façon méthodologique la conception des modèles spatiaux multidimensionnels sur des cas d'étude identifiés comme pertinents au regard de la problématique. Des étapes ont été constituées à l'intérieur de cette phase avec l'expression des besoins, la formalisation des indicateurs, la formalisation des hypothèses et le recensement des données mobilisables puis enfin la réalisation des modèles conceptuels et logiques. Les cas d'étude choisis pour illustrer les étapes et les sous étapes ont été inspirés des besoins relevés lors des travaux et des entretiens avec des professionnels du secteur de l'assurance tout au long du travail de thèse. On peut citer la participation de l'auteur à de nombreux groupes de travail de la MRN sur la question de l'évaluation de la politique de prévention des pouvoirs publics ainsi que des entretiens menés avec des professionnels de l'assurance (AGF, AXA, MACIF et MAIF) (responsables de souscription, experts en réassurance, responsables de la prévention) pour ce qui touche aux besoins « individuels ». Les cas d'étude sont alimentés par des questions concrètes permettant aux professionnels d'obtenir une plus grande lisibilité sur les deux grandes catégories de besoins.

Le premier modèle est centré sur la notion de Pertinence des mesures préventives entendue comme l'étude de l'avancement des mesures de prévention telles que l'approbation des PPR en comparaison avec le degré d'exposition réel des logements. L'objectif était de fournir des éléments de réponse à des questions du type « Quelles sont les communes ayant des logements inondables et n'ayant pas de PPR approuvés ? » ou encore « Est-ce que ce sont les communes les plus exposées en termes de logements inondables qui ont un PPR approuvé ? ». Ce modèle a permis de structurer le stockage d'indicateurs pour évaluer la pertinence des mesures préventives. Cela permet de rapidement voir les zones du territoire ayant accumulé du retard dans la mise en place des procédures administratives telles que la réalisation des PPR permettant de réguler la prévention des risques dans les plans d'urbanismes.

Le deuxième modèle est centré sur la notion d'Efficacité des mesures préventives entendue comme l'analyse attentive des constructions au regard des prescriptions associées aux zones réglementaires des PPR. L'objectif était de fournir des éléments de réponse à des questions du type « Est-ce qu'il y a eu des nouvelles constructions dans les zones rouges des PPR ? Quels sont les communes et les zones du territoire concernées ?» « Est-ce que la cartographie des zones réglementaires est bien en adéquation avec la cartographie des zones d'aléa ? ». L'objet de ce modèle est d'offrir plus de visibilité sur la qualité des PPR approuvés et sur leur efficacité opérationnelle (limiter et contrôler l'urbanisme existant et futur dans les zones à risque).

Le troisième modèle est centré sur l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés d'une société d'assurance en particulier ce qui correspond aux besoins individuels. L'objectif était de fournir des éléments de réponse à des questions du type « Quels sont les montants financiers résultants des dommages potentiels sur les portefeuilles d'assurés pour l'année courante ? » « Quels sont les types de portefeuille les plus exposés et les plus touchés historiquement en terme de sinistralité ? ». En identifiant les zones exposées portant le plus d'engagements financiers il sera possible de prioriser les zones pour la souscription et la prévention et pour la gestion des sinistres.

Le travail de modélisation effectué a montré qu'il est nécessaire de formaliser de façon précise les indicateurs pour ensuite en déduire les éléments clés (« Dimensions », « Faits », « Mesures », etc.). Les hypothèses permettent de s'affranchir en partie de certaines limites posées par la Qualité au sens large des données (hétérogénéité, fiabilité, complétude, etc.). On a pu observer que chaque modèle mobilise des données provenant de sources hétérogènes, des données géographiques et non géographiques et qu'il est nécessaire de comprendre leur structuration et leur architecture pour pouvoir les exploiter de façon fiable. Des méthodes de classification des sources de données, des critères et variables pertinentes pour chaque cas d'étude ainsi qu'une Matrice de classification Dimensions ont été proposées spécifiquement (ex : classification des Dimensions par catégorie du type « Aléas », « Enjeux », « Prévention », « Sinistralité », « Géographie », « Temps ».

La conception des modèles permet d'alimenter la seconde phase consistant à implémenter des prototypes exploratoires.

Les premières explorations technologiques autour de la technologie JMAP-SOLAP

La deuxième phase consistait à présenter le travail d'implémentation de prototypes exploratoires. L'idée était de montrer qu'une fois les modèles réalisés l'implémentation permet d'offrir aux utilisateurs finaux une interface de restitution et d'analyse adaptée aux besoins. L'implémentation a consisté à réaliser un certain nombre de traitements d'ingénierie informatiques afin de calculer les indicateurs des Cubes relatifs à chaque cas d'étude. La réalisation des traitements permet d'extraire, transformer et charger les calculs des faits dans les structures de données spatiales multidimensionnelles pour permettre ensuite la restitution des résultats dans l'interface d'exploration.

Comme précisé dans le manuscrit, les prototypes présentés ne sont pas exhaustifs et ne sont représentatifs de la réalité des territoires considérés. Des traitements informatiques ont bien été réalisés dans le cadre des études menées au CRC avec le secteur de l'assurance. Concernant l'appropriation technologique, la technologie JMAP-SOLAP a été présentée au travers de son architecture technique et fonctionnelle avec la description du fonctionnement du module d'administration et les principales caractéristiques du module de visualisation.

Pour ce qui concerne les traitements, il s'agit des phases consistant à extraire puis à calculer et charger les données dans la structure de données. On a pu constater qu'il fallait élaborer des stratégies informatiques pour extraire et préparer les données en vue de faire les calculs des valeurs des « Mesures » de chaque « Fait ». Ces transformations englobent des traitements géographiques et des traitements classiques dans un environnement de bases de données (opérateurs SQL) mais aussi des opérations mathématiques. Des étapes intermédiaires de calculs requièrent dans certains cas de s'appuyer sur d'autres fonctions particulières comme par exemple les courbes d'endommagement pour estimer les dommages à partir de la qualification des enjeux et du niveau d'exposition aux aléas. Ces traitements sont spécifiques à ceux de la gestion des risques naturels. Par la suite des boucles algorithmiques permettent de parcourir l'ensemble des combinaisons possibles des « Dimensions » et de les stocker dans les Cubes SOLAP conçus à cet effet dans un environnement relationnel (en l'occurrence MYSQL). Les traitements réalisés ont permis de mesurer la complexité liée aux traitements des données géographiques et non géographiques pour consolider les indicateurs propres à la problématique.

Pour ce qui concerne la restitution finale aux utilisateurs, les exemples de navigation dans l'interface de restitution permettent de percevoir les fonctionnalités offertes aux décideurs pour générer et naviguer dans des états pertinents pour l'analyse. On relève notamment des facilitateurs pour l'analyse comme par exemple les multi-cartes qui permettent par exemple de comparer des valeurs des « Membres » d'une même « Dimension » à la fois dans l'espace et dans le temps via les thématiques. C'est le cas aussi de la superposition de graphiques sur les objets géographiques comme les camemberts ou les histogrammes permettant d'évaluer l'importance d'une Mesure par rapport à une autre sur une ou plusieurs zones géographiques.

Enfin ont été présentés des exemples d'apports métiers pour chaque cas d'étude à partir des états cartographiques, graphiques et tabulaires générés par ce type d'interface. Ce type d'outil peut avoir deux utilités principales ; d'une part servir d'outil de communication pour partager des constats sur des indicateurs entre différents acteurs, d'autre part d'outil opérationnel pour contribuer à une meilleure maîtrise dans les processus métiers concernés par la gestion des risques. L'aspect communication est utile pour le secteur de l'assurance au niveau institutionnel pour dialoguer avec les pouvoirs publics sur des données tangibles et homogènes sur l'ensemble du territoire mais aussi pour dialoguer avec les sociétés de réassurance telles que la CCR pour négocier au mieux les couvertures de réassurance. Sur un plan plus opérationnel, ce type d'interface permet de répondre à des besoins d'optimisation de leur processus métiers. A titre d'exemple on a pu constater que la détection des zones à risque et d'aléa avec une forte densité des constructions permet de cibler les zones pour prioriser la souscription mais aussi pour renforcer la prévention auprès des assurés. Par ailleurs le

processus de gestion des sinistres peut aussi être renforcé pour anticiper les zones sinistrées et ainsi pouvoir déployer plus efficacement les experts, les réparateurs et déclencher des procédures de suivi spécifiques auprès des gestionnaires de sinistres de l'entreprise d'assurance vis-à-vis des assurés. Le fait de pouvoir évaluer par type de portefeuille permet d'ajuster les profils types à déployer par zone (ex : les inspecteurs constructions, entreprises, particulier, etc.). L'agrégation suivant différents axes d'analyse sur des portefeuilles, sur une couverture géographique globale avec la possibilité de générer des scénarios sur un ou plusieurs bassins de risque permet d'évaluer plus finement l'exposition réelle de la compagnie d'assurance et ainsi de recalculer les couvertures de réassurance soit par événement soit au niveau global pour toute la compagnie. Il y a donc un spectre relativement large de type d'utilisateurs.

Au travers de la thèse un certain nombre de limites et de freins ont été identifiés positionnant le travail de thèse dans une logique plus prospective qu'opérationnelle à court terme. Les limites portent aussi bien sur la qualité des données que sur la technologie elle-même.

Les limites et les freins à l'opérationnalisation du géodécisionnel sur le sujet de l'assurance des risques naturels

On distingue les limites sur la qualité des données et les limites sur la technologie géodécisionnelle. Dans un premier temps il convient de rappeler les principaux problèmes posés par la qualité des données mobilisées pour répondre aux besoins de la problématique. Dans la majorité des cas la lecture des résultats au niveau local (commune, département, bassin versant, etc.) ne pose pas de problème majeur puisque les données produites sont produites de façon homogènes. En revanche lorsqu'on raisonne sur des indicateurs à des niveaux plus globaux il est nécessaire d'agréger des données provenant des échelles locales qui sont la plupart du temps hétérogènes d'un niveau local à un autre. Cela représente une limite pour la construction des applications géodécisionnelles mais cela ne rend pas impossible la mise en œuvre. En effet il a été montré dans des expérimentations au CRG sur le projet de la forêt de Montmorency qu'il est possible de rendre homogène à des niveaux globaux des données hétérogènes au niveau local ; il convient pour se faire de trouver des mécanismes de conversion et de correspondance pour trouver des équivalences entre les attributs et les valeurs des données locales.

Limites sur la qualité des données

Les limites sur les données concernent dans un premier temps la capacité à consolider des données cartographiques fiables sur les aléas. Le travail présenté s'est concentré exclusivement sur l'aléa inondation. On a pu notamment insister sur le fait que les méthodes de modélisation divergent d'un bassin versant à un autre (modélisation hydrogéomorphologique, hydrauliques, PHEC, etc.). Chaque méthode dispose de ses caractéristiques propres de zonage de l'aléa ce qui rend complexe la lecture homogène sur tout le territoire et donc l'obtention de résultats de synthèse cohérents pour un décideur au niveau national. Cette hétérogénéité est liée au fait que la réalisation des cartes et des

modélisations est à la charge des régions (DIREN) sans contrainte sur les choix méthodologiques. Par ailleurs la démarche de numérisation des cartes au format vectoriel n'est pas identique d'une région à une autre. Or il est nécessaire de pouvoir quantifier l'aléa de façon homogène en tout point du territoire pour qualifier les dommages potentiels. La perspective d'obtenir ce niveau de précision nécessite que la directive européenne sur les inondations visant à homogénéiser ces informations soit effective de la même façon que la directive INSPIRE qui est censée pousser les Etats européens à numériser et homogénéiser l'ensemble des données géographiques sur les risques. Cela nécessite aussi de la part des sociétés d'assurance de se doter d'outils de modélisation de type HEC-RAS et acquérir les Modèles Numériques de Terrain sur l'ensemble du territoire national afin de faire tourner les modèles sur l'ensemble des bassins versants. Le calcul des dommages nécessite de disposer de courbes d'endommagement fiables pour indiquer à partir de chaque type d'enjeux (bâtiment, entreprise, stock, marchandise, etc.) et de chaque degré d'impact d'un aléa (ex : hauteur d'eau, vitesse d'écoulement, etc.) quel est le niveau d'endommagement. Or les sociétés d'assurance françaises ne se sont pas encore organisées pour construire ces courbes d'endommagement aussi bien de façon individuelle que de façon collective en capitalisant sur les retours d'expérience des sinistres passés. Cette démarche nécessite de mettre en commun des données sur les sinistres passés sur les catastrophes naturelles et réunir des experts de construction, d'entreprises pour évaluer la validité de ces courbes.

La qualité des Plans de Zonage Réglementaire des PPR est aussi en cause. En effet la méthode de cartographie, le choix des échelles de réalisation, les choix des référentiels pour le calage des zones au regard des plans d'urbanisme ainsi que les modes de nommage des types de zones réglementaires varient d'une commune à une autre. Par ailleurs la numérisation de ces plans n'est pas encore finalisée sur l'ensemble du territoire. Malgré des guides méthodologiques fournis par les services de l'Etat, il semble structurellement compliqué de rendre complètement homogène les cartographies des PPR sur l'ensemble du territoire national.

Le problème est similaire pour les données sur les permis de construire dont les références cadastrales ne sont pas systématiquement renseignées dans la BD SITADEL ce qui complexifie la jointure avec la base de données géographique Parcellaires de l'IGN (elle-même non totalement complétée) pour pouvoir étudier l'exposition à l'aléa et la localisation en zone PPR en comparaison avec l'avancement et la densité des constructions.

L'offre des données géographiques publiques sur les risques naturels présente donc un ensemble de limites dont il faut tenir compte pour la mise en œuvre des Cubes du type de ceux réalisés pendant la thèse.

De l'autre côté la qualité des données des sociétés d'assurance est elle aussi en cause. C'est le cas notamment de la qualité des adresses de risques attachées aux Contrats qui ne sont pas systématiquement renseignées et qui ont souvent un faible niveau de normalisation. Cela a un impact sur la capacité à géocoder ces adresses. Les modèles sur l'exposition des portefeuilles d'assurés nécessitent de pouvoir qualifier le contenu des polices d'assurance afin de décrire au plus près les caractéristiques des biens assurés par lieu de risque. Or dans la réalité opérationnelle du métier de la souscription ces informations ne sont pas renseignées pour des

raisons organisationnelles et de productivité. On trouve parfois ce type d'information au format papier et sous une forme plus détaillée dans les rapports d'expertise faisant suite à un sinistre. Pour remédier à cela les sociétés d'assurance doivent mettre en place des procédures et des ajustements de leurs processus métiers et informatiques de souscription pour permettre d'une part la normalisation des adresses de risques saisies pour les affaires nouvelles et d'autre part de pouvoir retravailler les adresses existantes dans les portefeuilles de façon à géoréférencer de la façon la plus précise possible les sites assurés. Au-delà de la récupération de l'adresse au moment de la souscription il peut être intéressant de créer des procédures pour récupérer quelques informations clés permettant de qualifier la nature des biens et de quantifier financièrement la valeur des biens assurés au moment où ceux-ci sont souscrits et enregistrés en base de données (l'étage du logement, le type de bâti, le type de stock, etc.).

Un autre type de limites concerne les aspects technologiques du géodécisionnel.

Limites sur la technologie géodécisionnelle

La phase d'implémentation technique s'est avérée peu évidente en particulier car les traitements nécessaires à la précalculation des indicateurs exploitant à la fois l'information géographique et l'information non géographique sont complexes. Or pour réaliser ces traitements complexes il semble qu'il y ait un manque d'outils permettant de combiner intelligemment des opérations géographiques sur les données avec des opérations SQL ou mathématiques pour effectuer les transformations nécessaires au chargement des données dans les cubes. Après avoir entrepris une démarche de veille technologique sur le marché on a pu constater que de nombreux outils ETL (Extract Transform Load) existent pour consolider les données des « datawarehouses » mais il y a une offre limitée d'outils ETL capables d'intégrer les spécificités des opérations géographiques (il est à noter l'existence de l'ETL Spatial FME dont l'utilisation pourrait être pertinente pour les travaux futurs de mise en œuvre d'applications géodécisionnelles [FME, 2004]). Cela a nécessité durant la phase d'implémentation de séparer d'un côté les résultats des opérations SIG et de l'autre les opérations SQL et mathématiques puisque les opérateurs sont portés par des technologies distinctes. Dans un deuxième temps il a fallu regrouper le tout et faire des jointures plutôt compliquées entre des tables intermédiaires pour parvenir à stocker les résultats de façon cohérente. Ces opérations ont été faites sans vraiment pouvoir disposer d'outils permettant de tracer les opérations, avec un système de gestion des métadonnées sur les sources géographiques et non géographiques mobilisées de façon à garantir la fiabilité des traitements. De même à la connaissance de l'auteur aucun outil ne permet d'obtenir une visibilité sur le niveau de remplissage de chaque Cube au fur et à mesure des traitements et d'alerter le développeur sur les incohérences potentielles sur les données stockées. Pour aller au-delà des prototypes exploratoires présentés dans le manuscrit, il est nécessaire de se doter d'outils professionnels ainsi que de continuer le travail de veille technologique sur les outils du marché afin de combler ces manquements qui conditionnent grandement la fiabilité des résultats des traitements présentés aux utilisateurs finaux.

Par ailleurs les prototypes réalisés n'offrent pas pour le moment la possibilité de faire de l'agrégation « à la volée » (c'est-à-dire que les agrégations sont calculées à la demande puis l'interface de restitution) sur les différents niveaux hiérarchiques des « Dimensions » comme

on peut le voir dans un certain nombre d'interfaces OLAP sur le marché. Il faudrait pour se faire que les serveurs géodécisionnels soient équipés de fonctionnalités permettant de faire le calcul des indicateurs à la demande. Il est donc nécessaire de stocker dans un même cube les Faits détaillés et les Faits agrégés. Cela peut entraîner des erreurs de manipulation dans les traitements puisque la mécanique d'agrégation est à la main du développeur et ne fait pas l'objet de mécanismes de contrôles de cohérences spécifiques. L'autre faiblesse technologique réside dans les capacités actuelles à personnaliser les interfaces géodécisionnelles. En effet la manipulation des états cartographiques, tabulaires et graphiques au travers des choix des « Membres » des « Dimensions », des « Mesures » offre énormément de flexibilité à l'utilisateur mais par la même occasion rend son utilisation plus complexe et nécessite de la part des utilisateurs de se former et de monter en compétences afin d'être capable de construire et d'interpréter les états qu'ils auront eux-mêmes générés depuis l'interface. Cette observation est particulièrement vraie pour des utilisateurs non avertis comme peuvent l'être des décideurs qui n'ont pas de temps à consacrer à se former à ce type d'outils. Afin de simplifier l'ergonomie et facilité la navigation dans l'espace et le temps, il pourrait être intéressant de disposer d'une plateforme de développement spécifique pour développer sur l'interface, des facilitateurs à la demande des utilisateurs finaux.

Après avoir présenté les principales limites de la thèse il convient de présenter les perspectives à court, moyen et long terme.

Les perspectives du géodécisionnel dans le secteur de l'assurance sur le thème des risques naturels

Tout au long de la thèse, la participation de l'auteur de près ou de loin aux travaux menés au sein du CRC sur le thème des risques naturels a permis de renforcer la conviction sur la capacité du géodécisionnel à répondre aux attentes du secteur de l'assurance et même au-delà de ce secteur.

Lors des travaux de conception et de développements informatiques du géoportail MRN, inscrits dans une démarche dite de recherche technologique partenariale entre la MRN, le CRC et la société Kheops Technology, un certain nombre d'enseignements ont pu être identifiés pour enrichir le présent manuscrit. Tout au long de la thèse l'auteur a interagi de façon permanente avec l'équipe MRN pour développer et concevoir à partir de la technologie JMAP un portail cartographique intégrant des données géographiques et non géographiques et un ensemble de services en ligne sur les risques naturels. Le travail a permis de constater qu'il y a des attentes réelles des professionnels de l'assurance pour exploiter la valeur ajoutée de l'information géographique sur les risques naturels (diagnostic par site à l'adresse, au coordonnées GPS, par entité administrative, rapport sur un ensemble de sites assurés contenus dans les portefeuilles, etc.). Des démonstrations ont été présentées lors des différentes phases de conception de l'outil et devant un parterre de professionnels de l'assurance travaillant sur différents processus métiers (souscription, sinistre, réassurance, direction technique, actuariat, etc.) venant de différentes sociétés d'assurance exerçant en France. Un groupe d'utilisateurs intégrant des représentants des sociétés a été créé spécialement pour définir les orientations fonctionnelles et technologiques de l'application. Les services informatiques des grandes

sociétés telles que GENERALI, GROUPAMA et AXA étudient actuellement les conditions de déploiement de cette solution en interne auprès de leurs opérationnels avec des modes opératoires et des guides d'utilisation intégrés dans les processus métiers. Tout au long de la thèse les professionnels sont passés du stade de la curiosité à celui de l'intérêt réel de la technologie et de la valeur ajoutée des données sur les risques naturels. Cette démarche d'appropriation par le secteur de l'assurance a permis de valider la nécessité de continuer la recherche sur l'innovation technologique et fonctionnelle dans ce domaine. Le géodécisionnel s'inscrit véritablement dans la continuité des travaux opérationnels menés par l'auteur pour le compte de la MRN. Par conséquent, pour l'auteur, l'approche scientifique sur le géodécisionnel a été alimentée et enrichie par le travail opérationnel avec la MRN tout au long de la thèse.

Il convient désormais de proposer des orientations futures pour les futurs travaux scientifiques dans ce domaine. L'action à court terme consiste à finaliser la démonstration du potentiel du géodécisionnel pour la problématique. En effet les prototypes exploratoires ne sont pas suffisamment aboutis pour permettre de mettre en avant un exemple d'un apport concret réalisé à partir d'une solution de ce type. Pour se faire il est nécessaire de rassembler l'ensemble des moyens permettant d'aboutir à ce résultat. Les cas d'étude présentés dans la thèse peuvent servir de support pour aider à caractériser le problème et trouver la zone la plus pertinente pour la démonstration. La réalisation d'un prototype devra nécessairement se faire sur un territoire significatif avec des données publiques de qualité (complètes, fiables, homogènes). Un échantillon significatif de données provenant d'une ou plusieurs sociétés d'assurance devra aussi être fourni avec des adresses de risques normalisées et des données qualitatives et quantitatives associées permettant de qualifier et quantifier les biens assurés. Il faudra aussi s'appuyer sur des fonctions d'endommagement fiables consolidées à partir des données sur les sinistres. De plus, il sera nécessaire par la suite de se doter d'outils informatiques professionnels pour réaliser les opérations d'extractions, de transformations et de chargements des Cubes de données. Un processus d'amélioration continue des prototypes pourra se faire au travers de concertations avec les professionnels de l'assurance dommages travaillant sur des processus métiers différents et venant de sociétés d'assurance différentes. De façon à être en position de répondre au mieux aux attentes du secteur sur ce thème, il est nécessaire de poursuivre la démarche de recherche technologique partenariale liant les besoins métiers (le secteur de l'assurance au travers de la MRN et de ses mandants), l'innovation technologique (les centres de recherche de pointe sur le géodécisionnel comme le CRG) et les sciences de gestion et d'ingénierie des risques (comme le CRC). Ce modèle de recherche permettrait de conserver un bon niveau de réactivité dans la mise en œuvre des fonctionnalités attendues.

A moyen terme il pourrait être intéressant d'ouvrir ce type de méthodologie et de technologie à un périmètre fonctionnel plus élargi. Notamment il pourra être envisagé d'utiliser les « Mesures » des Cubes pour stocker des indices de risque qui seraient calculés localement en pondérant en fonction du niveau d'exposition à l'aléa, du degré d'application des mesures préventives ou encore de la situation administrative de la commune face aux risques. Cela permettrait d'obtenir une vision d'analyse de risque unifiée sur ce thème. Pour se faire il faudra s'appuyer sur les hypothèses sur les données formulées dans le chapitre 3 et poursuivre la réflexion rendre les cubes homogènes à des niveaux agrégés tout en conservant

l'hétérogénéité des niveaux détaillés. Par ailleurs une réflexion pourrait être menée sur la gestion multi-aléas en intégrant dans un seul et même Cube des Dimensions sur d'autres aléas naturels tels que la sécheresse, les mouvements de terrains ou les tempêtes mais aussi des aléas technologiques tels que les risques d'explosion de sites SEVESO. Le dernier point serait d'étendre cette approche à des « risk managers » de grandes entreprises ayant en charge la gestion opérationnelle des risques sur un patrimoine immobilier et mobilier conséquent. C'est le cas notamment du groupe ACCOR qui a sous-traité au CRC la réalisation d'une application de « scoring » sur l'exposition de ses hôtels aux risques de Tsunami, séisme, etc. L'application a été conçue et développée dans un environnement purement relationnel (SGBD relationnel). Il semble tout à fait réaliste de penser qu'une extension géodécisionnelle pourrait être pertinente pour faciliter la consolidation de tableaux de bord et d'états cartographiques, graphiques et tabulaires sur ce thème.

Dans une perspective à plus long terme pour le secteur de l'assurance, il pourrait être envisagé de concevoir des plateformes technologiques géodécisionnelles mutualisées pour un groupement de sociétés d'assurance, mais aussi individuelles pour une société en particulier. La plateforme mutualisée permettrait de répondre à l'ensemble des besoins « collectifs » et la plateforme individuelle permettrait de répondre aux besoins « individuels ». Chacune des plateformes serait constituée d'un ensemble de Cubes spatiaux multidimensionnels spécifiquement conçus pour répondre à un des thèmes ou des sous thèmes de la problématique. Le regroupement des Cubes sur une seule plateforme permet de capitaliser sur les traitements déjà réalisés et potentiellement réutilisables d'un Cube à un autre. La conception de ces plateformes nécessite de mettre en place une chaîne de traitements et d'ingénierie rigoureuse pour garantir la qualité des données et des traitements. La plateforme « individuelle » serait totalement intégrée au système d'information de l'entreprise (au sein du système de reporting) et exploiterait des résultats des traitements combinant les données publiques géographiques et non géographiques sur les risques naturels avec des données internes au système d'information opérationnel de l'entreprise. Si on se projette dans le cas où la réforme du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles est effective avec l'obligation pour les assureurs d'adapter la tarification des contrats en fonction du degré d'exposition et du respect des mesures de prévention, alors ces plateformes permettraient aux sociétés d'assurance de consolider en un lieu unique les traitements pertinents sur ces problématiques et de conserver la maîtrise et le savoir faire sur ce thème.

FIGURES

Figure 1 - *Evolution des dommages des catastrophes naturelles depuis 1950 jusqu'à 2006 (extrait de [MunichRe, 2006])* 20
Figure 2 - Evolution des provisions d'égalisation de la CCR (extrait du rapport annuel [CCR, 2007]) 21
Figure 3 - Evolution des indemnités versées par les assureurs depuis 1982 [FFSA, 2007] 22
Figure 4 - Evolution des cotisations assurance de biens et responsabilité depuis 1998 (source [FFSA, 2006]) 23
Figure 5 - Concept de vulnérabilité dans l'évaluation du risque [Mengual, 2005] 27
Figure 6 - Analyse de la vulnérabilité vue par le monde de l'assurance 27
Figure 7 - *Interface de CARTORISQUE le portail des données sur les risques naturels du MEEDDAT* 40
Figure 8 - *Illustration de la méthode de modélisation probabiliste des catastrophes pour le secteur de l'assurance et de la réassurance [SwissRe, 2007]* 44
Figure 9 - *Exemple d'une National Flood Insurance Rate Map mis à disposition par la FEMA* 47
Figure 10 - *Exemple d'interface du Géoportail de la MRN (SIGMRN)* 49
Figure 11 – Positionnement fonctionnel du décisionnel appliqué à une société d'assurance 61
Figure 12 – Architecture décisionnelle fondée sur un entrepôt de données [Lebraty, 2006] 64
Figure 13 – Illustration graphique du « Fait » « Site exposé » 66
Figure 14 – Illustration graphique des « Dimensions » : « Géographie », « Activité », « Construction » 67
Figure 15 – Illustration graphique de la « Hiérarchie » de la « Dimension » : « Géographie » 67
Figure 16 – Illustration graphique du schéma en étoile 68
Figure 17 – Illustration graphique du schéma en flocon 68
Figure 18 – Illustration d'un exemple d'interface d'analyse Spatial OLAP (combinaison de graphiques, tableaux et cartes thématiques) [Proult et al., 2007]. 77
Figure 19 – Illustration d'un Tableau de Bord Spatial appliqué à la production forestière au Canada [Proult et al., 2007] 78
Figure 20 – Illustration graphique des « Dimensions Spatiales » (adaptée de [Rivest et al., 2005]) 80
Figure 21 – Illustration de la « Dimension Spatiale » géométrique « Géographie » selon la « Hiérarchie Administrative » 81
Figure 22– Illustration de la « Dimension Spatiale » géométrique « Géographie » selon la « Hiérarchie Assurance » 82
Figure 23 – Illustration de la « Dimension Opérateur » : « Opérateur Inondation » 83
Figure 24 – Schéma en étoile pour la modélisation spatiale multidimensionnelle du cas d'étude sur les sites exposés (en zone grisée figurent les extensions spatiales apportées au modèle multidimensionnelle) 84
Figure 25 - Analyse du risque d'érosion pour les sites de la municipalité de Saint-Siméon (extrait de [Mc Hugh 2006]) 88
Figure 26 – Illustration du Cube SOLAP sur l'évaluation des mesures préventives des communes du département des Alpes Maritimes (extrait de [Iris et al., 2006]) 89

Figure 27 - Réponse à la requête : Nombre de parcelles d'assureurs, de tous les types de commune (typologie et agglomération), de tous les types de zone, pour les districts du canton [Borgeaud 2007] 90
Figure 28 – Schéma de la méthode globale de la méthode de prototypage géodécisionnel 93
Figure 29 – Schéma des étapes de la démarche de Modélisation 94
Figure 30 – Etape 1 « Exprimer les besoins » de la démarche de modélisation 96
Figure 31 – Etape 1 « Exprimer les besoins » de la démarche de modélisation 98
Figure 32 – Exemple de la comparaison entre le zonage réglementaire et le zonage de l'aléa Inondation (Atlas des Zones Inondables (AZI) et zone rouge PPR) [EtudePPR, 2007] 101
Figure 33 - Etape 3 « Poser les Hypothèses » de la démarche de modélisation 102
Figure 34 - Etape 4 « Recenser les données mobilisables » de la démarche de modélisation 106
Figure 35 – Illustration du découpage en îlots Iris avec des attributs de la base Iris Profils (extrait de [INSEE, 2008]) 107
Figure 36 – Illustration des contours des parcelles cadastrales et des bâtiments (extrait de [PARCELLAIRE, 2008]) 108
Figure 37 – Illustration d'un extrait d'Atlas de Zones Inondables reposant sur une approche Hydrogéomorphologique. 109
Figure 38 Illustration d'un extrait d'un plan de zonage réglementaire d'un PPR d'une commune à risque 110
Figure 39 – Etape 5 « Réaliser le Modèle » de la démarche de modélisation 111
Figure 40 – Schéma illustrant les sous-étapes 5a, 5b, 5c, de l'étape 5 (« Réaliser les modèles ») de la démarche de modélisation 112
Figure 41 – Schéma de la Dimension Spatiale « Découpage Administratif » 117
Figure 42 – Modèle Logique Spatial Multidimensionnel pour l'évaluation de la pertinence des mesures préventives 120
Figure 43 – Schéma de la Dimension Géographie du modèle de l'évaluation de l'efficacité des mesures préventives 123
Figure 44 – Matrice de classification des Dimensions pour le modèle sur l' « Evaluation des mesures préventives » 124
Figure 45 – Modèle logique spatial multidimensionnel sur l'Evaluation des mesures préventives 126
Figure 46 – Etape 1 « Exprimer les besoins » de la démarche de modélisation 127
Figure 47 - Etape 2 « Formaliser les indicateurs » de la démarche de modélisation 129
Figure 48 – Etape 3 « Poser les hypothèses » de la démarche de modélisation 132
Figure 49 – Etape 4 « Recenser les données mobilisables » de la démarche de modélisation 134
Figure 50 – Modèle conceptuel du système d'information opérationnel d'une société d'assurance dommage 135
Figure 51 – Illustration de la BD Alti de l'IGN avec un pas de résolution de 50m 136
Figure 52 – Illustration du résultat d'une simulation avec HEC-RAS 137
Figure 53 - Etape 5a : Identification des dimensions 138
Figure 54 – Schéma de la Dimension « Bassin Versant » 140
Figure 55 – Schéma de la Dimension « Découpage Assurance » 140
Figure 56 – Schéma du modèle spatial multidimensionnel pour l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés 143

Figure 57 – Positionnement de la phase d'Implémentation dans la démarche globale de prototypage 147
Figure 58 – Schéma des étapes de la démarche d'Implémentation 148
Figure 59 – Etape d'appropriation technologique dans la démarche d'Implémentation 150
Figure 60 – Schéma d'architecture technique de JMAP 152
Figure 61 – Illustration de l'interface d'administration JMAP-SOLAP 156
Figure 62 – Sélection des « Mesures », des « Dimensions » pour construire les graphiques, tableaux, cartes 157
Figure 63 – Opérateurs SIG du Module de Visualisation 158
Figure 64 – Opérateurs SOLAP du Module de Visualisation 158
Figure 65 – Exemple de combinaison de vues graphiques, cartographiques et tabulaires dans la même interface SOLAP 159
Figure 66 – Etape de « Réalisation des traitements » dans la démarche d'Implémentation 160
Figure 67 – Décomposition des sous étapes de la « Réalisation des traitements » 160
Figure 68 – Schéma récapitulant la sous-étape d'Extraction des données dans la phase d'implémentation des modèles 162
Figure 69 – Illustration des croisements entre les îlots INSEE Profil Habitat et l'Atlas des Zones Inondables dans le département des Alpes Maritimes 163
Figure 70 – Illustration cartographique des traitements réalisés sur la commune d'Orléans en intersectant les parcelles cadastrales ayant un permis de construire délivré avec la comparaison du zonage du PPR et de l'AZI 166
Figure 71 – Illustration de courbes d'endommagement d'après [Blin et al., 2004] 168
Figure 72 – Illustration des traitements à réaliser dans le cadre de l'évaluation des dommages sur les portefeuilles d'assurés 169
Figure 73 – Illustration des boucles imbriquées pour calculer les agrégations des Faits du modèle sur l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés 173
Figure 74 – Etape de « Restitution des résultats » dans la démarche d'Implémentation 174
Figure 75 – Exemple de combinaison de graphiques, cartographies et de tableaux pour analyser la situation de l'exposition et de l'avancement des PPR pour les communes du département des Bouches du Rhône. 177
Figure 76 – Exemple de la restitution des parcelles cadastrales ayant un permis de construire avec la comparaison entre l'AZI et le zonage réglementaire 181
Figure 77 – Exemple Comparaison graphique des surfaces de parcelles cadastrales ayant un permis de construire autorisé avec la décomposition par type de zone PPR 182
Figure 78 – Comparaison multicarte par type de bâti pour le scénario « Exceptionnel » et pour tous les portefeuilles 185

TABLEAUX

Tableau 1 - Exposition aux inondations pour tous les départements du Languedoc Roussillon (11, 30, 34, 48 et 66) [Chemitte, 2007] 24
Tableau 2 - Exposition des communes aux risques naturels (extrait de [IGF IGE CGPC, 2006]) 29
Tableau 3 - Comparaison des processus OLTP et OLAP (extrait de [Teste, 2000]) 63
Tableau 4 - Synthèse des critères d'évaluation de la pertinence des mesures préventives 100
Tableau 5 - Synthèse des critères d'évaluation de l'efficacité des mesures préventives 101
Tableau 6 – Récapitulation des données mobilisées pour les modèles sur l'évaluation de la pertinence et de l'efficacité des mesures préventives 111
Tableau 7 - Matrice de classification des Dimensions par catégorie spécifique aux risques naturels et par type de Dimension de la modélisation spatiale multidimensionnelle 113
Tableau 8 - Matrice de classification des dimensions pour le modèle sur l'évaluation de la pertinence 118
Tableau 9 - Tableau de synthèse des indicateurs pour l'évaluation des portefeuilles d'assurés face aux inondations 131
Tableau 10 - Récapitulation des données mobilisées pour les modèles sur l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés 137
Tableau 11 – Matrice de classification des dimensions pour le modèle de l'évaluation de l'exposition des portefeuilles d'assurés. 141
Tableau 12 - Exemple de traitements réalisés à partir des calculs d'exposition des logements et des recoupements avec la base GASPAR sur le département des Alpes Maritimes 164
Tableau 13 - Extrait de traitement réalisés sur Orléans à partir de la localisation des permis de construire, du zonage du PPR, de l'AZI et des contours des parcelles cadastrales 165
Tableau 14 - Illustration du chargement de la table de Dimension « Portefeuille » 170
Tableau 15 - Illustration du chargement de la table de Dimension Géographie pour le modèle sur 171

BIBLIOGRAPHIE

[AFIGEO, 2005] : Association Française pour l'Information géographique AFIGEO, 2005, "Livre Blanc : S'informer pour réduire les risques naturels", publications de l'AFPCN et de l'AFIGEO suite à journée du 4 novembre 2002 au Palais du Luxembourg et rapport pour discussion « Partager l'information géographique sur le risque inondation pour mieux le gérer ».

[AFPCN, 2008]: Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles AFPCN, 2008: http://www.afpcn.org

[AIR, 2008] : AIR Catastrophe Modeling : http://www.air-worldwide.com/_Public/html/catmodeling.asp

[Argiles, 2008] : BRGM, Base de données ARGILES, 2008 : http://www.argiles.fr

[Babusiaux, 2007] : Babusiaux G., 2007, « Visualisation de requêtes SOLAP : une approche service Web », Mémoire de licence en informatique, Université Libre de Bruxelles, Faculté des Sciences du Département Informatique

[BCT, 2008] : Bureau Central de Tarification, 2008 : http://www.bureaucentraldetarification.com.fr/

[Bédard et al., 1997]: Bédard Y., Larrivée S., Proulx M.-J., Caron P.-Y., Létourneau F., 1997, "Geospatial Data Warehousing : Positionnement technologique et stratégique", Rapport préparé pour le Centre de recherche de la défense de Valcartier, Université Laval, 79 pp.

[Bédard et al., 2001]: Bédard Y., Merrett T., Han J. 2001, « Fundamentals of spatial data warehousing for geographic knowledge discovery", In: Geographic Data Mining and Knowledge Discovery. Fdited by H. Miller and J. Han, Taylor & Francis.

[Bédard et al., 2005] : Bédard Y., Proulx M-J., Rivest S., 2005, « Enrichissement de l'OLAP pour l'analyse géographique : exemples de réalisations et différentes possibilités technologiques », Journée francophone sur les entrepôts de données et l'analyse en ligne, Lyon.

[Bédard, 2006] : Bédard Y., 2006, « Géomatique décisionnelle : état de l'art, impacts et approches de développement », Chaire de Recherche Industrielle Base de données géospatiales décisionnelles, Université Laval, Infrastructure Canada Ottawa.

[Bidan, 2007] : Bidan P., 2007, «La réassurance des risques naturels Mode d'emploi et outils », 2èmes RENCONTRES GEOGRAPHES ET ASSUREURS, Colloque MAIF.

[Bilodeau et al., 2006] : Bilodeau F., Mc Hugh R., 2006, « Gestion intégrée des données géospatiales et non géospatiales multi-sources pour le suivi environnemental des sites en érosion le long des infrastructures routières en Gaspésie et aux Îles-de-la-Madeleine », Rapport étudiant, Université Laval, Qc, Canada, Mai, 164p.

[Blanchi et al., 2003]: Blanchi R., Robert F., Guarnieri F., 2003, " Première analyse du contenu et de la qualité des Plans de prévention des risques naturels (PPR) : D'une complexité originelle à une pluralité fonctionnelle", Réalités industrielles ISSN 1148-7941, Eska, Paris.

[Blondeau et al., 2003]: Blondeau J., Partrat C., 2003, « La réassurance : approche technique », Livre, Lavoisier, 640p.

[Borgeaud, 2007] : Borgeaud N., 2007, « Utilisation d'un logiciel SOLAP en vue d'un screening des grands propriétaires fonciers en Suisse », Rapport de master, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, LASIG

[Brehm, 2007] : Brehm P.J., 2007 « Enterprise risk analysis for property and liability insurance companies », Guy Carpenter & Company, LLC, 2007

[Brugnot, 2001] : Brugnot G., 2001, « Gestion spatiale des risques », Hermès science Lavoisier.

[Buisson, 1990] : Buisson L., 1990, « Le raisonnement spatial dans les systèmes à base de connaissances - application à l'analyse de sites avalancheux », Thèse d' informatique, université Joseph Fourier, Grenoble (FR).

[Camphuis, 2008] : Camphuis N.G., 2008, « La directive européenne inondation et les évolutions qu'elle peut provoquer vis-à-vis de la situation française », Centre Européen de Prévention du Risque Inondation.

[Caron, 1998] : Caron P.Y., 1998, « Étude du potential de OLAP pour supporter l'analyse spatio-temporelle. », Mémoire de M.Sc., Département des sciences géomatiques, Faculté de foresterie et géomatique, Université Laval, 132 p.

[Cartorisques, 2008] : Portail de Cartographie des Risques Naturels du MEEDDAT, 2008 : http://cartorisque.prim.net

[Castens, 2003] : Castens A., 2003, "Flood Risk and Real Estate Zoning-System for Floods, Tailback and Heavy Rain (ZÜRS)", ESRI Geoinformatik GmbH - Germany

[CCR, 2007] : Caisse Centrale de Réassurance, 2007, « Les catastrophes naturelles en France », Rapport annuel sur le régime d'assurance des catastrophes naturelles, Communication officielle de la CCR

[Chaudhuri et al., 1997] : Chaudhuri S., Dayal U., 1997, "An Overview of Data Warehousing and OLAP Technology", ACM SIGMOD Record, 26(1).

[Chaze et al., 2004] : Chaze X., Napoli A., 2004 : “Conception et développement d'un portail Internet sur les risques naturels en France à l'aide de la technologie MapServer”, 2004, Rapport de stage de fin d’études Ecole Nationale Supérieure de Géographie (ENSG) en partenariat avec le CRC, 80 p.

[Chemitte, 2007] : Chemitte J., 2007, « Les outils d’aide à l’analyse de l’exposition aux aléas inondations pour les assureurs», 2èmes RENCONTRES GEOGRAPHES ET ASSUREURS, Colloque MAIF.

[Codd, 1993]: Codd E.F., 1993, "Providing OLAP (on-line analytical processing) to user-analysts : an IT mandate", Technical Report, E.F. Codd and Associates.

[Couilbault et al., 2007]: Couilbault F., Eliashberg C ., Villatte M., 2007, « Les grands principes de l’assurance », Livre, L’Argus de l’assurance, Les fondamentaux de l’assurance, 372 p.

[Daanish, 1998]: Mustafa D, 1998, ``Structural causes of vulnerability to flood hazard in Pakistan" Economic Geography, p 289 – 305.

[Daesub et al., 2008] : Daesub Y., Jongwoo C., Hyunsuk K., Juwan K., 2008, "Future Automotive Insurance System based on Telematics Technology", LBS/Telematics Convergence Research Team, Electronics and Telecommunication Research Institute

[Devillers et al., 2004] : Devillers R., Bedard Y., Gervais M., 2004, « Indicateurs de qualité pour réduire les risques de mauvaise utilisation des données géospatiales », Revue Internationale de Géomatique,Vol. 14, No. 1, p. 35-57

[Dijoux, 2005] : Dijoux C., 2005, « Les solutions géo-décisionnelles ESRI/SAS », Lettre d’information SAS du mois d’octobre 2005.

[Echos, 2007]: Les Echos, 20 septembre 2007, "L'assurance auto française prépare la révolution du « pay as you drive »", Journal les Echos.

[Echos, 2008]: Les Echos, 4 novembre 2008, "Sécurité routière: la Macif et Maif lancent la "balise Argos de l'automobiliste"", Journal les Echos

[EQECAT, 2008] : EQECAT : http://www.eqecat.com

[EM-DAT, 2008] : Emergency Events Database, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters (CRED), Université Catholique de Louvain, 2008 : http://www.emdat.be

[D'Ercole, 1994] : D'Ercole R., 1994, « Les vulnérabilités des sociétés et des espaces urbanisés : concepts, typologie, modes d'analyse », Revue de géographie alpine, Grenoble, tome 82, n°4, pp. 87-96.

[Durin et al., 2007] : Durin V., Mathieu L., 2008, "L'approche Hydrogéomorphologique en milieu méditerranéen : une méthode de détermination des zones inondables », DIREN Provence Alpes Côte d'Azur.

[ESRI OLAP, 2008] : Extension OLAP pour le logiciel ArcGis développé par ESRI, 2008 : http://www.esrifrance.fr/OLAP.asp

[Etude PPR, 2007]: Mission Risques Naturels et ARMINES-CRC, 2007, "Etude sur l'évaluation de la pertinence et de l'efficacité des PPR", Etude contractuelle entre ARMINES-CRC et la Mission Risques Naturels, rapport mis à disposition uniquement pour les professionnels de l'assurance sur le site de la MRN.

[Expertise Somme, 2001] : Inspection générale de l'administration, Conseil général des ponts et chaussées, Conseil général du génie rural, des eaux et des forêts Inspection générale de l'environnement, 2001, « Rapport de la mission d'expertise sur les crues d'avril 2001 du bassin de la Somme ».

[FFSA, 2004] : FFSA, 2004, « Bilan des inondations du sud et du centre de la France de décembre 2003 », n°40 du journal Assurer du 14 décembre 2004.

[FFSA, 2007] : Direction des Affaires Publiques de la Fédération Française des Sociétés d'Assurance, FFSA, 2007, « Le point sur la réforme du régime d'assurance des catastrophes naturelles », Dossier de presse de la FFSA

[FFSA, 2008] : FFSA, 2008, Conférence de presse annuelle de la FFSA.

[FME, 2004] : Safe Software, 2004, "Feature Manipulation Engine (FME), Functions, Factories and Transformers", Manuel d'utilisation du logiciel FME, Publication de la société Safe Software Inc.

[Franklin, 1992] : Franklin C., 1992, "An Introduction to Geographic Information Systems: Linking Maps to databases.", Database. pp. 13-21. 1992.

[GASPAR, 2008] : Base de Données sur la Gestion Assistée des Procédures Administratives relatives aux Risques naturels : http://www.prim.net/professionnel/procedures_regl/avancement.html

[Geobusiness, 2008] : Chaire de Recherche en Géomatique d'Affaires, 2008 : http://chaire.geobusiness.usherbrooke.ca

[GEOFLA, 2008] : Base de Données GEOFLA de l'IGN sur les contours administratifs : https://professionnels.ign.fr/ficheProduitCMS.do?idDoc=5323861

[Godfrin, 2008] : Godfrin-Sanseverino V., 2008, « Le cadre juridique de la gestion des risques naturels » Paris : Tec et Doc, XIII-70 p., Sciences du risque et du danger. Série Notes de synthèse et de recherche

[Greenfield, 2005] : Greenfield L., 2005, "*The Data Warehousing Information Center*", www.dwinfocenter.org.

[Guarnieri et al., 2003] : Guarnieri F., Garbolino E., 2003, « Système d'information et risques naturels », Les presses de l'école des mines.

[Guarnieri, 2006]: Guarnieri F., 2006, « Information Géographique et Assurance des Risques Naturels : Initiatives, Freins et Propositions d'Action », Cours de l'Ecole des Mines de Paris.

[Guide PPR, 1997] : La Documentation Française, 1997, « Guide général, Plans de prévention des risques naturels prévisibles (PPR) », Ed. La documentation française.

[Guide PPR, 1999] : La Documentation Française, 1999, « Guide méthodologique plans de prévention des risques d'inondations», Ed. La documentation française.

[HAZUS, 2008]: FEMA HAZUS MultiHazard Software presentation, 2008, http://www.lib.ncsu.edu/gis/hazusmh.html

[Hydratec, 1998] : Hydratec, 1998. « Evaluation des dommages lies aux crues en région Ile de France. Elaboration des courbes d'endommagement à l'habitat (approche assurantielle) ». Paris, France. 34 p.

[Inmon, 1994] : Inmon W.H., 1994, "Building the Data Warehouse", John Wiley&Sons, ISBN 0471-14161-5

[IGF CGPC IGE, 2006] : Mission d'enquête conjointe de l'Inspection Générale des Finances, du Conseil Général des Ponts et Chaussées et de l'Inspection générale de l'Environnement, 2006, « Mission d'enquête sur le régime d'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles » Rapport particulier sur la prévention des risques naturels et la responsabilisation des acteurs.

[IGN, 2008] : Institut Géographique National, 2008 : http://www.ign.fr

[Immon, 1994]: Inmon W.H., 1994, "Building the Data Warehouse", John Wiley&Sons, ISBN 0471-14161-5.

[INSEE, 2008] : Base de données Profils de l'INSEE sur les indicateurs sociaux démographiques par theme (Habitat, Activité, Démographie) : http://www.esrifrance.fr/infos_demo.asp

[INSPIRE, 2007] : Journal Officiel de l'Union Européenne, Directive INSPIRE, 2007, « Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE)".

[Iris et al., 2007] : Iris J., Chemitte J., Napoli A., 2007, "A Geospatial Web Platform for Natural Hazard Exposure Assessment in the Insurance Sector", The Geospatial Web : How Geo-Browsers, Social Software and the Web 2.0 are Shaping the Network Society, Edited Springer Book.

[Iris et al., 2006] : Iris J., Napoli A., Guarnieri F., 2006, Contribution of a Spatial Multidimensional Portal for Natural Hazards Data Exploration, 20th International Conference on Informatics for Environmental Protection September 6-8, 2006 Graz Austria, pp 47-53

[Iris et al., 2006] : Iris J., Napoli A., Guarnieri F., 2006, "Evaluation of the Spatial Multidimensional Approach for the Analysis of Natural Disaster Data", 25th International Conference on Urban Management Data Society, Aalborg Danemark

[Iris et al., 2006] : Iris J., 2006, « Tableau de bord et indicateurs : aide à l'analyse des données sur les risques naturels en France », 2ème rencontre GEORISQUE "la cartographie des risques naturels", Montpellier

[ISOTC211, 2008] : Internation Standard Organisation, ISO TC211 standards sur l'information géographique, 2008 : http://eden.ign.fr/wg/isotc211/stds/view

[Kaplan et al., 1996] : Kaplan K.S., Norton D.P., 1996, « The balanced score card" Harvard Business School Press.

[Kheops, 2008] : Solution géodécisionnelle JMAP-SOLAP développée par Kheops Technologies : http://www.kheops-tech.com/en/jmap/solap.jsp

[Kimball, 1996]: Kimball R., 1996, "The data warehouse toolkit", John Wiley and Sons.

[Kunreuther et al., 2005] : Kunreuther H. et Grossi P., 2005, « Catastrophe modelling: a new approach to managing risk », Springer.

[L125-6, 2003] : Article de loi du code des assurances modifié le 30 juillet 2003, « Chapitre 4 : L'assurance des risques de catastrophes naturelles ».

[L82-600, 1982] : Service de diffusion du droit français, 1982, « Loi n°82-600 du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles »,http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006068755&dateTexte=20081105.

[Lambert, 2006] : Lambert M., 2006, « Développement d'une approche pour l'analyse SOLAP en temps réel : Adaptation aux besoins des activités sportives en plein air », Mémoire

présenté à la Faculté des études supérieures de l'Université Laval dans le cadre du programme de maîtrise en Sciences géomatiques pour l'obtention du grade de maître ès sciences (M.Sc.).

[Latour et al., 2001] : Latour P., Le Floc'h J., 2001, « Géomarketing : Principes, Méthodes et applications », Livre, Organisations Editions, 272 p.

[Leboeuf, 2006] : Leboeuf P., 2006, "Géoportail : Le portail des territoires et des citoyens = Geoportail : the territories and citizen portal", Le monde des cartes, Comité français de cartographie, n°190, pp. 20-23.

[Lebraty, 2006] : Lebraty J-F., 2006, « Les systèmes décisionnels ». Encyclopédie de l'informatique et des systèmes d'information (2006) 1338-1349 [halshs-00264398 − version 1].

[Lenz, 1997] : Lenz H.J., Shoshani A., 1997, "Summarizability in OLAP and statistical data bases." In *SSDBM*, pages 132 – 143.

[Leone et al. 1996] : Leone F., Aste J.P., Leroi E., 1996, « L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements de terrain », *Revue de géographie alpine*, Grenoble, tome 84, n°1, pp. 35-46.

[Leone et al., 2006]: Leone F., Vinet F., 2006, « La vulnérabilité, un concept fondamental au coeur des méthodes d'évaluation des risques naturels », dans la « Vulnérabilité des sociétés et territoires face aux menaces naturelles », Ouvrage collectif sous la direction de Leone F. et Vinet F., Géorisques.

[LettreMRN, 2007]: Lettre d'information n°12 de la MRN d'octobre 2007 : http://www.mrn-gpsa.org

[Longley et al., 2001]: Longley P.A., Goodchild M.F., Maguire D.J., Rhind D., 2001, "Geographic Information Systems and Science." John Wiley & Son, 454 p.

[Lünenburger, 2006] : Lünenburger, 2006, « The Economics of River Flood Management: A Challenge for the Federal Organization?", Inaugural Dissertation zur Erlangung der Würdeeines Doktors der Wirtschaftswissenschaften (Dr. rer. pol.) an der Fakultät für Wirtschafts - und Sozialwissenschaften der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg.

[Mc Hugh et al., 2006] : Mc Hugh, R., Bilodeau F., Rivest S., Bédard Y., 2006, « Analyse du potentiel d'une application SOLAP pour une gestion efficace de l'érosion des berges en Gaspésie Iles-de-la-Madeleine », Géomatique 2006, 25-26 octobre 2006, Montréal, Cananda

[Maguire et al., 2005]: Maguire D.J., Longley P.A., 2005, "The emergence of geoportals and their role in spatial data infrastructures", Computer, Environment and Urban Systems, Pages 3-14 Geoportals

[Manche, 2000]: 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, Université Joseph Fourier – Grenoble I – Cemagref, 171p.

[Manche, 1997]: Manche Y., 1997, « Propositions pour la prise en compte de la vulnérabilité dans la cartographie des risques naturels », Revue de Géographie Alpine, n°2, T. 85, p. 49-62.

[Marchand et al., 2001] : Marchand P., Bédard Y., Edwards G., 2001, « A hyper cube-based method for spatio-temporal exploration and analysis." Geolnfomatica.

[Mengual et al., 2004] : Mengual P., Guarnieri F., Devaux-Rose C., 2004, « Inondation et PME-PMI vers un outil d'autodiagnostic de réduction des vulnérabilités », ENSMP - 1 vol. (p. 258-263).

[Mengual, 2006] : Mengual P., 2006, « Contribution à la caractérisation de la vulnérabilité des PME-PMI aux inondations : vers un instrument méthodologique d'autodiagnostic », Thèse de doctorat, Université de Nice - Sophia Antipolis.

[Miquel et al., 2002] : Miquel M., Bédard, Y., Brisebois, A., 2002, « Conception d'entrepôts de données géospatiales à partir de sources hétérogènes, exemple d'application en foresterie. » Ingénierie des Systèmes d'information, 7(3), 89-111.

[MRN, 2008] : Mission Risques Naturels : http://www.mrn-gpsa.org

[MunichRe, 2008]: Topics Geo Munich Re Group, 2008, « Topics Geo, Annual Review : Natural Catastrophes in 2007", Rapport annuel de la revue Topics Geo sur les catastrophes naturelles dans le monde.

[NATHAN, 2008] : Portail sur les risques naturels de la Munich Re, Natural Hazard Assessment Network, 2008 : http://mrnathan.munichre.com/

[Newell, 1990] : Newell A., 1990, "Unified theories of cognition", 549 p.

[Nussbaum, 2005] : Nussbaum R., 2005, « Partenariats Public/Privé pour l'assurance des catastrophes naturelles en Europe », n°64 de la revue les Cahiers de l'assurance, décembre 2005. http://www.ffsa.fr/webffsa/risques.nsf/html/Risques_064_0018.htm

[Nussbaum, 2006]: Nussbaum R., 2006, "Coût des inondations et financement des dommages", Frontiers in Flood Research: Le Point de la Recherche Sur Les Crues, De Ioulia Tchiguirinskaia, Khin Ni Ni Thein, Pierre Hubert, International Association of Hydrological Sciences, International Hydrological Programme Publié par IAHS/IHP-UNESCO, ISBN 1901502635, 9781901502633, 212 p.

[Nussbaum, 2006] : Nussbaum R., 2006, « D'un monde à l'autre : en quoi une association des sociétés d'assurance pour la connaissance et la prévention renforce-t-elle les

complémentarités entre assureurs et géographes », Actes du 1er colloque « Géographes et assureurs face aux risques naturels », Université de Versailles Saint-Quentin en Yvelines.

[Nussbaum, 2006] : Nussbaum R., « Le risque d'inondation : de l'indemnisation à la prévention », Présentation aux Entretiens de la prévention, Paris, 11 décembre 2006

[OGC, 2008]: Open Geospatial Consortium, 2008 : http://www.opengeospatial.org/

[PARCELLAIRE, 2008] : Base de Données PARCELLAIRE de l'IGN contenant l'information cadastrale numérisée et homogène : https://professionnels.ign.fr/ficheProduitCMS.do?idDoc=5276261

[Penning et al., 1994]: Penning – Roswell E., Fordham M., 1994, "Flood Across Europe. Hazard Assessment, modelling and management." Middlesex University Press, Grande Bretagne. 214 p

[PitneyBowes MapInfo, 2008] : Pitney Bowes MapInfo, Solution Location Intelligent Component (LIC), 2008 : http://www.mapinfo.com/

[PNUD, 2004]: Programme des Nations Unies Pour le Développement, 2004, "La réduction des risques de catastrophes : un défi pour le développement", Bureau for Crisis Prevention and Recovery One United Nations Plaza.

[Prim.net, 2006] : Tableaux de bord des PPR du site Prim.net sur le portail de la prévention des risques majeurs du MEEDDAT : http://www.prim.net/professionnel/procedures_regl/tableau_bord/PPR.htm

[Proult et al., 2007] : Proult M-J., Bédard Y., 2007, « Présentation d'un tableau de bord spatial », Chaire de Recherche Industrielle Bases de données géodécisionnelles, Université Laval.

[Reix, 2005] : Reix R., « Systèmes d'information et management des organisations, Vuibert, 2005.

[Rigaux et al, 2002]: Rigaux P., Scholl M., Voisard A., 2002, « Spatial databases with application to GIS", San Francisco, CA, Morgan Kaufmann Publishers Inc.

[Rivest et al, 2001]: Rivest S., Bédard Y., Marchand P., 2001, "Towards better support for spatial decision-making : defining the characteristics of Spatial On-Line Analytical Processing", *Geomatica*,Vol. 55, No. 4, p. 539-555.

[Rivest et al., 2003]: Rivest, S. Y. Bédard, M.J. Proulx & M. Nadeau, 2003, SOLAP: a new type of user interface to support spatio-temporal multidimensional data exploration and analysis, Workshop ISPRS, Quebec, Canada, October 2-3, Québec, Canada

[Rivest et al., 2005] : Rivest, S., Bédard, Y., Proulx, M.-J., Nadeau, M., Hubert F., Pastor, J., 2005, « SOLAP: Merging Business Intelligence with Geospatial Technology for Interactive Spatio-Temporal Exploration and Analysis of Data ». *Journal of Int. Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 60, n°1. Elsevier, 2005, p. 17-33.

[RMS, 2008]: Risk Management Solutions : http://www.rms.com.

[Scharl et al., 2007]: Scharl A., Tochtermann K., 2007, « The Geospatial Web: How Geobrowsers, Social Software and the Web 2.0 are Shaping the Network Society", Livre, Springer Verlag.

[Scotch et al.,2006]: Scotch M., Parmanto B., 2006, "Development of SOVAT: a numerical-spatial decision support system for community health assessment research", Center for Biomedical Informatics, University of Pittsburgh.

[Shukla et al., 1996] : Shukla A., Deshpande P.M., Naughton J., Ramaswamy K., 1996, "Storage Estimation for Multidimensional Aggregates in the Presence of Hierarchies", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL CONFERENCE ON VERY LARGE DATABASE.

[SITADEL, 2008] : Système d'Information et de Traitements Automatisés des Données Elémentaires sur les Logements locaux, 2008 : http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=163

[Solvabilité II, 2007] : Directive Européenne Solvabilité II, 2007, http://ec.europa.eu/internal_market/insurance/solvency/index_fr.htm, directive adoptée le 27 juillet 2007 par la Commission et sera votée au parlement Européen en 2009.

[SwissRe, 2005]: Sigma Swiss Re, 2005, "Sigma, Natural catastrophes and man-made disastersin 2004 : More than 300 000 fatalities, recored insured losses", Revue annuelle Sigma sur les catastrophes en 2004.

[SwissRe, 2006]: Sigma Swiss Re, 2006, "Sigma, Natural catastrophes and man-made disastersin 2005 : High earthquakes casualties, new dimension in windstorm losses", Revue annuelle Sigma sur les catastrophes en 2005.

[SwissRe, 2008]: Sigma Swiss Re, 2008, "Sigma, Natural catastrophes and man-made disastersin 2007 : High losses in Europe", Revue annuelle Sigma sur les catastrophes en 2007

[Teste, 2000] : Teste O., 2000, « Modélisation et manipulations d'entrepôts de données complexes et historisées», Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier.

[Torterotot, 1993] : Torterotot J.P., 1993, « Le coût des dommages dus aux inondations : estimation et analyse des incertitudes », Paris, Thèse de doctorat de l'ENPC, 304 et 350 p. (2 vol.).

[Torterotot et al., 1994] : Torterotot J. P., Roche P. A, 1994, « L'estimation du coût des dommages dus aux inondations fluviales et l'analyse des incertitudes. Actes du Colloque de l'hydraulique. » Congrès de la Société Hydrotechnique de France. Nîmes, France. Pages 529 – 534.

[ULaval, 2008] : Université Laval de Québec spécialisée dans la recherche de pointe en géomatique, 2008, http://www.scg.ulaval.ca/page.php?nom=geomatique

[Veyret et al., 2004] : « Les risques », Bréal, 2004

[Veyret et al., 2005] : Veyret Y., Reghezza M., 2005, « L'émergence du risque en géographie », *Cahiers nantais*, n°64, p. 3-9.

[Veyret et al., 2006] : Veyret Y., Reghezza M., 2006, « Vulnérabilité et risques. L'approche récente de la vulnérabilité. », Annales des Mines, série responsabilité et environnement , n°43, juillet, p. 9-13.

[Voyer, 2000] : Voyer P., 2000, « Tableaux de bord de gestion et indicateurs de performance », Presse de l'Université du Québec.

[Wisner et al., 2004] : Wisner B., Blaikie P., Cannon T., Davis I., 2004, « At Risk: Natural Hazards, Peoples Vulnerability and Disasters, Routledge", Routledge, Londres et New York.

Résumé

L'objet de la thèse est d'évaluer l'approche géodécisionnelle pour l'analyse des risques naturels dans le secteur de l'assurance en France. Pour une société d'assurance souhaitant améliorer sa visibilité sur les risques naturels l'objectif est double ; d'une part s'assurer de la meilleure qualité possible de la politique de prévention mise en œuvre par les pouvoirs publics, d'autre part s'assurer de sa solidité financière pour faire face à des catastrophes naturelles pouvant survenir sur ses portefeuilles d'assurés. Les sociétés d'assurance françaises disposent d'une offre d'outils et de services ne répondant que partiellement à ces besoins tant au niveau de la prévention qu'au niveau de l'optimisation de ses processus métiers (en particulier la souscription, la gestion de sinistres et la réassurance). Les raisons de ce constat réside d'une part dans le contexte réglementaire du régime d'indemnisation des catastrophes naturelles reposant exclusivement sur un principe de solidarité (n'ayant pas suffisamment incité les assureurs à évaluer l'exposition physique des assurés aux risques naturels) et d'autre part dans la forte hétérogénéité des données géographiques et non géographiques rendant complexe l'appropriation de la problématique et l'exploitation des outils par les professionnels du secteur. La thèse propose une approche dite « géodécisionnelle » englobant une méthodologie de modélisation de données (modélisation spatiale multidimensionnelle) mais aussi un ensemble de composants technologiques informatiques (moteurs d'extraction, de transformation, de chargement de données et outils de restitution et d'analyse) pour explorer les indicateurs agrégés et détaillés selon plusieurs critères et dont les valeurs sont issues de croisements de données géographiques et non géographiques. L'idée est d'appliquer cette approche sur un ensemble cohérent d'indicateurs pour analyser la vulnérabilité des assurés sous l'angle « collectif » pour l'intérêt général de la profession et sous l'angle « individuel » vu d'une société d'assurance en particulier. A partir d'un certain nombre d'hypothèses formulées, les modèles proposés exploitent des données sur les aléas naturels comme les modélisations de crues pour les inondations, des données sur le zonage du risque dans les plans d'urbanisme (au travers des « Plans de Prévention des Risques) mais aussi des données cadastrales et des données statistiques ainsi que des données assurantielles types d'une société d'assurance. La thèse présentera l'état de l'art de la problématique et proposera une démarche de modélisation ainsi qu'une démarche d'implémentation de prototypes exploratoires sur des cas d'étude concrets tirés des activités de recherches contractuelles existantes autours de cette thématique. La technologie choisie pour les expérimentions est Spatial OLAP conçue et développée au Centre de Recherche en Géomatique à l'Université Laval de Québec.

Mots-clés : géodécisionnel, gestion des risques, aléas naturels, assurance, dommages aux biens, réassurance, cartographie.

Summary

The aim of the thesis is to evaluate the contribution of geodecisional approach for better analysing the problematic of natural disaster impacts on the French insurance market. An insurance company aims to get better insight on the natural disaster vulnerability. Two concerns have been identified: the first concern is "mutual" by reinforcing the efficiency of the public policy of natural disaster prevention, the second concern is "individual" by reinforcing the financial solidity of the company facing natural disaster event that could occur on their insurance portfolio. The offers in terms of tools and services to cover these requirements are limited for the French insurance market for two main reasons: first of all the French natural disaster indemnification system is based on a solidarity principle which has never encouraged the insurers to evaluate precisely the level of exposure of their clients to natural hazard, also, the second point is the heterogeneity of the spatial and non spatial data on the territory which has generated more complexity for the appropriation of the problematic by the French insurance companies. The thesis propose the "geodecisional approach" including a data modelling methodology (spatial multidimensional modelling) and technological components (for extraction, transformation, loading, restitution) in order to propose interface for exploring detailed and aggregated indicators combining spatial and non spatial analysis in a logical view according to the enterprise strategy. The idea is to adapt this approach to consolidate indicators for natural disaster vulnerability on the "mutual" and on the "individual" perspective. The different models are combining natural hazard maps like flood modellings, risk zoning maps in urbanism plans ("Plan de Prévention des Risques") but also cadastral data and maps, geostatistical data about exposures and insurance data from an insurance company. The thesis will present the state of the art of the problematic and will propose a method for modelling and for implementing exploratory prototypes on case studies. The technology chosen to build the prototypes is Spatial OLAP developed at the Center of Reseach in Geomatics at Laval University in Quebec.

Keywords : geodecision, risk management, natural hazards, insurance, property casualty, reinsurance, mapping.