

# République Algérienne Démocratique et Populaire

- Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique -

Département Informatique

N° d'ordre : .....

N° de série : .....

## Mémoire préparé pour obtenir Le Diplôme de Magister en Informatique

*Option : Computation and Calculation*

*Thème :*

*Réflexion sur la modélisation et les approches des ontologies spatiales pour la mise en œuvre des systèmes à prévention des risques naturels*

*Soutenu le 20 Décembre 2005.*

Présenté par :

**M. Chaker MEZIOUD**

*Devant le jury :*

- PR Med Chaouki BATOUCHE Université de Constantine « Président de jury »
- M.C Mohamed Kheireddine KHOLLADI Université de Constantine « Rapporteur »
- M.C Faiza BELALA Université de Constantine « Examineur »
- M.C Mohamed BENMOHAMED Université de Constantine « Examineur »

Mémoire préparé au sein du laboratoire LIRE

---

**Université Mentouri**  
CONSTANTINE

---

## *Remerciements*

*Je tiens à remercier toute personne ayant participé, de loin ou de prêt à la réalisation de ce mémoire.*

*Je suis extrêmement reconnaissant envers Monsieur Mohamed Kheireddine KHOLLADI, maître de conférences et chef de département informatique à l'université de Constantine. Je le remercie pour le sujet très passionnant qu'il m'a proposé, me permettant ainsi d'enrichir mes connaissances, je le remercie également pour la disponibilité sans réserve dont il a fait preuve à mon égard, les nombreuses discussions que j'ai eues avec lui ainsi que les précieuses et judicieuses aides.*

*Je remercie tout particulièrement M. Hacene BELHADEF, enseignant à l'université de Constantine, pour son aide et ses conseils sur le domaine des systèmes d'informations géographiques.*

*Je remercie tous les membres de jury d'avoir accepté l'évaluation de ce travail.*

*Pour finir, j'ai une pensée toute particulière pour mes proches et mes parents qui n'ont jamais cessé de me fournir le précieux soutien.*

*Merci ...*

# ***Table des Matières***

---

<b>Avant propos</b>	<b>1</b>
<b>Problématique</b>	<b>1</b>
<b>Objectifs e méthodologie</b>	<b>3</b>

## ***Chapitre I : Risques Naturels***

---

∅ <b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>1 Risque du mouvement de terrain</b>	<b>4</b>
1.1 Définition	4
1.2 Historique	5
1.3 Les mouvements longs et continus	5
1.3.1 <i>Les affaissements</i>	5
1.3.2 <i>Les tassements</i>	5
1.3.3 <i>Les phénomènes de gonflement retrait</i>	6
1.3.4 <i>Les glissements de terrain</i>	6
1.4 Les mouvements rapides et discontinus	7
1.4.1 Les effondrements	7
1.4.2 Les écroulements et les chutes de blocs	7
1.4.3 Les coulées boueuses et torrentielles	7
1.4.4 L'érosion littorale	7
<b>2 Les enjeux</b>	<b>8</b>
2.1 Humains	8
2.2 Matériels	8
2.3 Environnementaux	8
<b>3 La prévention</b>	<b>8</b>
3.1 Vigilance	8
3.2 Aspects législatifs et documentaires	9
<b>4 Démarche scientifique et moyens de mise en œuvre</b>	<b>9</b>
<b>5 Exemples d'application</b>	<b>10</b>
<b>6 Rôle des systèmes d'informations géographique</b>	<b>11</b>
∅ <b>Conclusion</b>	<b>11</b>

## ***Chapitre II : Systèmes d'Information Géographique***

---

<b>Ø Introduction</b>	<b>13</b>
<b>1 Concepts de base</b>	<b>14</b>
1.1 Information géographique et représentation	14
1.1.1 Le texte géographique	14
1.1.2 La représentation cartographique	15
1.1.3 La conception cartographique	15
1.2 Modèle conceptuel de l'information géographique	16
1.2.1 Lien entre objets géographiques et localisation	16
1.2.2 Le modèle géométrique	16
1.2.3 La prise en compte de la connaissance dans l'information géographique	16
<b>2 Les principaux composants d'un SIG</b>	<b>17</b>
2.1 Les référentiels cartographiques	17
2.1.1 Les référentiels géométriques	17
2.1.2 Les référentiels directs	17
2.2 La représentation graphique	18
2.2.1 Le mode raster ou matriciel	18
2.2.2 Le mode vecteur	18
2.2.3 Les relations spatiales entre objets	19
2.3 L'acquisition des données	19
2.3.1 Les données existantes de description de territoire	20
2.3.2 Les autres modes d'acquisition	20
2.3.3 Le géoréférencement	21
2.4 Le support logique de l'information	21
2.5 Les fonctionnalités d'un SIG	22
2.6 L'organisation	22
<b>3. Les domaines d'application des SIG</b>	<b>23</b>
3.1 Les usages d'un SIG	23
3.2 Les utilisateurs des SIG	24
<b>Ø Conclusion</b>	<b>25</b>

## ***Chapitre III : Les Ontologies***

---

<b>Ø Introduction</b>	<b>26</b>
<b>1. Fondements ontologiques</b>	<b>26</b>
<b>2. Définition d'une ontologie</b>	<b>27</b>
<b>3. Comparaison entre une ontologie et une base de données</b>	<b>29</b>
<b>4. l'interrogation d'une ontologie</b>	<b>29</b>

<b>5. Construction d'une ontologie</b>	<b>30</b>
<b>6. Ontologie et information géographique et spatiale</b>	<b>31</b>
<b>7. Différents types d'ontologies</b>	<b>32</b>
7.1 Les ontologies de type thesaurus	32
7.2 Les ontologies descriptives	32
7.3 Les ontologies géographiques	33
7.3.1 Les ontologies de l'espace	33
7.3.2 Les ontologies de domaines géographiques	33
7.3.3 Les ontologies spatialisées	34
7.3.3.1 Composantes de l'ontologie spatiale	34
7.3.3.2 Les besoins des ontologies spatiales	35
7.3.3.3 Spécificités des ontologies spatiales	35
7.3.3.4 L'intégration des trois composantes : Espace, Temps et Multi représentation	36
<b>∅ Conclusion</b>	<b>37</b>

## ***Chapitre IV : Le Monde des Agents et leurs Interactions***

<b>∅ Introduction</b>	<b>38</b>
<b>1. Définition d'un SMA ( Système Multi Agents )</b>	<b>39</b>
1.1 Définition d'un agent	39
1.2 Descriptions d'un agent	41
1.3 Modèles d'agents existants	42
1.3.1 Agent Réactif	42
1.3.2 Agent Délibératif	43
1.3.3 Agent Cognitif	43
<b>2. L'agent et son état</b>	<b>43</b>
<b>3. l'architecture BDI ( Belive Desire Intension )</b>	<b>44</b>
<b>4. La communication entre agents</b>	<b>45</b>
4.1 Définition d'une interaction	46
4.2 Le but de l'interaction	47
4.3 Différentes formes d'interactions	47
4.3.1 Interaction sans communication	47
4.3.2 Interaction « primitives » par communication	47
4.3.3 Interaction par envoi de messages, de plans	48
4.3.4 Interaction par un tableau noir « Blackboard »	48
<b>5. Différents domaines d'application en matière d'utilisation du modèle d'agents et interaction</b>	<b>49</b>
5.1 Le génie logiciel base sur l'approche agent et interaction entre agents	50
5.2 Cas d'une approche à base d'agents pour le génie logiciel	51
5.3 Avantages du génie logiciel basé sur l'approche d'agents	52

5.4	Vers une tendance de génie logiciel basé agent	53
∅	<b>Conclusion</b>	<b>53</b>

## ***Chapitre V : Méthodologie adoptée***

∅	<b>Introduction</b>	<b>55</b>
1	<b>Téledétection, Surveillance de l'environnement</b>	<b>55</b>
2	<b>Méthodologies adoptées pour la prévention des risques</b>	<b>57</b>
3	<b>Nécessité de l'interopérabilité</b>	<b>57</b>
3.1	Les objectifs de l'interopérabilité	58
3.2	Comparaison entre l'interopérabilité dans les SIG et l'interopérabilité dans les SI	59
4	<b>Approche d'agent avec état</b>	<b>60</b>
5	<b>Description de l'approche adoptée</b>	<b>62</b>
5.1	Concept de vue	64
5.2	L'architecture d'Interopérabilité des Systèmes d'Informations Spatiales	66
5.3	Description des différents types d'agents	66
5.3.1	Agent du Domaine	66
5.3.2	Agent d'Interface	66
5.3.3	Agents Relieurs	67
5.3.4	Agents de Contrôle	67
5.3.5	Agent Superviseur	67
5.3.6	Super Agent	68
5.4	Résolution du problème d'hétérogénéité	70
1.1.1	Les concepts de base	70
1.1.2	Les concepts spécialisés	70
5.5	Vue globale du système SMA	73
5.6	Vue globale de la Méréologie	73
5.6.1	Méréologie Structurale	73
5.6.2	Méréologie Fonctionnelle	74
5.6.3	Méréologie Comportementale	75
∅	<b>Conclusion</b>	<b>75</b>
	<b>Conclusion Générale et Perspectives</b>	<b>76</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>79</b>



- **Avant propos :**

L'évolution des technologies et d'Internet suscite un besoin croissant de partage d'informations sur le Web qui passe par la compréhension des informations mises à disposition et une automatisation des processus de navigation, d'extraction ou de mises à jour de ces informations.

L'information géographique n'échappe pas à ces nouveaux besoins. Une réponse prometteuse à ces objectifs est le développement d'ontologies. Les ontologies permettent la spécification de connaissances agréées par une communauté de personnes et partageables sur le Web. Ce partage nécessite la représentation de la sémantique des informations afin de les rendre compréhensibles à une communauté d'utilisateurs relativement à un domaine ou à une activité.

Plusieurs modèles ont été développés pour la modélisation des ontologies qui trouvent leurs fondements dans des domaines comme l'intelligence artificielle, la représentation des connaissances ou les bases de données. Les logiques de description et les outils d'inférences afférents connaissent un nouvel essor pour la modélisation des ontologies. Les modèles conceptuels de bases de données étendus sont aussi une voie prometteuse. L'information géographique est actuellement le parent pauvre de ce foisonnement et les ontologies spatiales restent à construire.

- **Problématique :**

Au cours des dernières années, l'aspect «risques naturels » constitue un domaine de recherche particulièrement actif, dû au degré de danger et d'inquiétude apportés par ce phénomène. Si la ville de Constantine n'échappe jusqu'ici aux situations les plus extrêmes, plusieurs de ses régions ont néanmoins subis des risques de grande ampleur. Elle doit de surcroît, comme toutes les régions concernées, répondre aux inquiétudes soulevées. Le développement de nouveaux systèmes de prévention et de prévision envers ce phénomène des risques naturels reste la seule issue. Actuellement, les acteurs et les chercheurs du domaine renforcent leurs efforts pour un but commun qu'est la réduction au moins de ces risques.

Pour la prospection des ressources naturelles, les méthodes géophysiques ont été bouleversées par le traitement numérique des données (acquisition et analyse) et par la modélisation (interprétation).

La télédétection spatiale, en permettant de recueillir une grande quantité de données en très peu de temps, a révolutionné les méthodes mises en oeuvre pour l'étude de l'environnement, La prospection, la surveillance et la gestion des ressources. Les SIG permettent de faciliter le stockage, la gestion et l'exploitation de ces données. Le traitement des grands problèmes de

l'environnement exige de tenir compte de l'évolution récente des techniques et technologies en matière de capacité et de rapidité de calculs, de traitement et de transmission de données et informations.

Si l'exploitation des systèmes existants peut être améliorée, ces systèmes ne sont pas équipés pour répondre à des besoins spécifiques dans le domaine de la prévision, de la prévention et de la réduction des risques.

Les SIG sont les outils qui permettent de saisir, emmagasiner, analyser et représenter, en fait gérer, les objets géographiques et leurs relations. On définit aujourd'hui les SIG dans un sens plus large où on inclut aussi les procédures, les individus et les données spatiales qui sont intégrés dans un système à base d'agents. Le suivant schéma (Figure a) nous donnera plus d'illustration sur notre problématique et principale motivation :

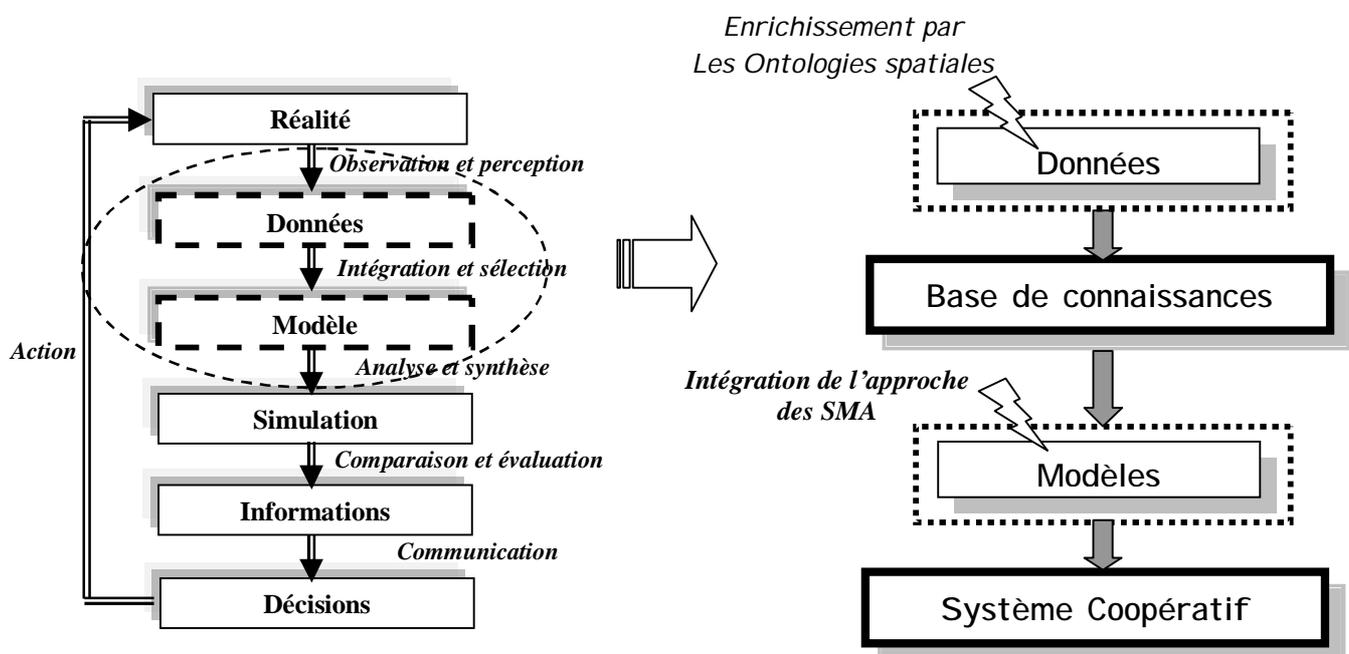


Figure a : Schéma de mise en œuvre d'un SIG et parties du problème.

Bien que des progrès importants aient été réalisés ces dernières années, la modélisation des données spatiales présente encore certaines difficultés. Les premiers modèles de données de SIG mettaient l'accent sur la structure requise pour supporter la géométrie et la topologie des faits géographiques. Malgré l'avancement des sciences de l'information géographique, la plupart des modèles demeurent très statiques et peu polyvalents; ils ne sont pas adaptés pour refléter l'évolution des phénomènes, le besoin d'interopérabilité des bases de données et l'utilisation du langage naturel dans les requêtes. Il y a un manque flagrant d'ergonomie dans la structure même des bases de données.

Plus récemment, les modèles tentent de mettre en relation la thématique et les données géométriques dans une approche plus large qui dépasse les problèmes de structure de données.

- **Objectifs et méthodologie :**

La bonne décision, en matière de prévention des risques naturels passe par des connaissances des interactions à court, moyen et long terme afin de maintenir et d'améliorer l'état des systèmes d'alerte et de prévention et l'entretien des ressources. Le développement futur des informations géographiques par des nouvelles technologies de l'information et de communication pose le problème de partage et d'utilisation en commun des informations.

Le développement des ontologies spatiales ouvre un axe de recherche prometteur à ce genre de préoccupation. Les ontologies spatiales permettent de spécifier les connaissances agréées par la communauté de personnes et partageables sur le Web, ce qui nécessite la représentation sémantique des informations géographiques afin de les rendre compréhensibles à la communauté d'utilisateurs relativement au domaine de la prévention des risques naturels notamment les glissements de terrains.

L'idée nous mène à penser à dévoiler ce nouvel axe de recherche des ontologies spatiales à base de la technologie multi-agents et de voir comment l'exploiter dans la mise en œuvre des systèmes de prévention des risques naturels. Cette idée qui est à l'origine de mon sujet de Magister, dont l'intitulé : « *Réflexions sur la modélisation et les approches des ontologies spatiales pour la mise en œuvre des systèmes à prévention des risques naturels* ».

Dans ce cadre, nous devons se formaliser avec des modèles développés pour la modélisation des ontologies trouvant leurs fondements dans des domaines comme l'intelligence artificielle, la représentation des connaissances (spatiales) et des bases de données (géographiques). Nous nous retrouverons devant le besoin de construire des ontologies spatiales spécifiques à la problématique en s'appuyant sur une approche multi-agents, qui doivent tenir compte :

- <sup>2</sup> Le besoins particuliers des ontologies en termes de modélisation, d'approches des d'interopérabilité pour un SIG dédié à la prévention des risques naturels.
- <sup>2</sup> Les solutions à base d'ontologies sont efficaces en particulier pour assurer l'interopérabilité ou la coopération sémantique entre les différents systèmes de prévention des risques naturels.

## Ü Introduction :

Durant les dernières années, les aspects « risques naturels » et « aménagement du territoire » commencent à constituer un domaine de recherche particulièrement sensible. La poussée démographique dans certains territoires, le développement urbain et la concentration des infrastructures augmentent considérablement l'impact de l'aléa naturel sur l'aménagement du sol, du sous-sol et du trait de côte (séisme, glissement de terrain, effondrement des cavités souterraines, inondation, subsidence côtière, gestion des grands travaux, etc...).

Ces risques ont des conséquences différentes selon les climats, les régions et les populations concernées. Leur réduction nécessite une connaissance approfondie des séismes, des tempêtes, des inondations ainsi que des enjeux humains, économiques et environnementaux. Souvent, leurs conséquences peuvent être aggravées par la présence de risques technologiques. Actuellement, les aspects réglementaires se renforcent, de nombreuses recherches et diverses techniques cherchent à réduire les effets des aléas et à mieux protéger les enjeux. Renforcer la prévision et la prévention ainsi que l'information des populations, afin de réduire ces risques. La gestion de la crise et de la post-crise nécessite une coordination des différents acteurs. L'école intègre peu à peu dans ses pratiques cette culture du risque ainsi que la connaissance de comportements adaptés à de telles situations.

### 1 Risque du mouvement de terrain :

#### 1.1 Définition

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique [KHO05].

- les affaissements et les effondrements de cavités.
- les chutes de pierre et éboulements.
- les glissements de terrain.
- les avancées de dunes.
- les modifications des berges de cours d'eau et du littoral.
- les tassements de terrain provoqués par les alternances de sécheresse et de réhydratation des sols.

Ils peuvent être regroupés en deux grandes catégories, à savoir les processus lents et continus (tels que les affaissements, tassements...), et les événements plus rapides et discontinus (les effondrements, les éboulements, les chutes de pierres, etc.).

## 1.2 Historique

Dans le monde, les mouvements de terrain provoquent la mort de 800 à 1 000 personnes par an, sans compter les mouvements dus aux séismes, probablement les plus meurtriers.

Si les conditions géologiques et climatiques sont réunies, on peut observer dans certaines régions des glissements sur les pentes, l'effondrement de carrières, de cavités naturelles mais aussi du sous-sol de nombreuses villes souvent à caractère patrimonial. Pour une telle raison que les glissements jugés importants, amorcés depuis quelques années, devront être sous haute surveillance.

Le risque est la confrontation d'un aléa ou de plusieurs aléas avec un ou des enjeux. Les mouvements de terrain de grande ampleur peuvent être à l'origine de phénomènes induits plus graves encore : inondations, vague déferlante, ondes de submersion dues à la chute d'une masse de terrain dans la retenue d'un barrage par exemple.

Il existe différents types de ce phénomène de mouvement de terrain :

### 1.3 Les mouvements lents et continus :

Souvent aggravés par l'eau de ruissellement et d'infiltration. On distingue :

#### 1.3.1 Les affaissements :

Évolution de cavités souterraines dont l'effondrement est amorti par le comportement souple des terrains superficiels :

- des vides naturels par dissolution de roches solubles, calcaires, gypse...
- des ouvrages souterrains exécutés sans précaution comme le métro de Paris ;
- des carrières souterraines de calcaire, craie, mines de sel, de charbon, comme les marnières en Haute-Normandie ;
- des ouvrages souterrains (caves...) laissés à l'abandon ...

#### 1.3.2 Les tassements :

Diminution de volume de certains sols vaseux, tourbeux, argileux..., sous l'effet des charges appliquées et/ou de la surexploitation des nappes aquifères. Ces phénomènes peuvent être de grande extension, exemple de Mexico.

Cette ville, construite sur des alluvions, s'est tassée de 7 mètres depuis le début du siècle par exploitation excessive de la nappe tout comme à Osaka, Bangkok, Venise.

### ***1.3.3 Les phénomènes de gonflement retrait :***

Les sols argileux se gonflent en période de pluie et se rétractent en période de sécheresse. Les arbres peuvent accentuer ce phénomène. Plusieurs dizaines de milliers de constructions ont ainsi été endommagées au cours de la sécheresse qui a affecté la France de 1989 à 1992. (Tassement, gonflement-retrait, Pise en Italie). « voir figure I.1 »



**Figure I.1 : Phénomène de gonflement retrait**

### ***1.3.4 Les glissements de terrain :***

Avant la rupture, un versant instable se déplace par gravité de quelques mm à quelques dm par an pour s'accélérer en phase paroxysmale à quelques mètres par jour. Pour les couches profondes, les volumes de terrain en jeu sont considérables plusieurs millions de m<sup>3</sup>.



**Figure I.2 : Phénomène de glissement de terrain**

## 1.4 Les mouvements rapides et discontinus :

### 1.4.1 Les effondrements :

Déplacements verticaux instantanés de la surface du sol par rupture brutale de cavités souterraines préexistantes, naturelles ou artificielles telles que les mines ou les carrières. Souvent, une excavation grossièrement cylindrique appelée fontis, apparaît. Parfois sur plusieurs niveaux avec du gypse, de la craie et surtout du calcaire grossier. (Effondrement d'une cavité naturelle par dissolution du gypse, Bargemont en France).



Figure I.3 : Phénomène des effondrements

### 1.4.2 Les écoulements et chutes de blocs :

Résultat de l'évolution de falaises allant de la simple chute de pierres inférieures à  $0,1 \text{ m}^3$ , à l'écroulement catastrophique supérieur à 10 millions de  $\text{m}^3$  avec, dans ce dernier cas, une extension importante des matériaux éboulés et une vitesse de propagation supérieure à 100 km/h. (Chute de bloc, La clapière, Alpes-Maritimes en France)

### 1.4.3 Les coulées boueuses et torrentielles

Phénomènes caractérisés par un transport de matériaux plus ou moins fluide :

- coulées boueuses sur des pentes lors d'un afflux d'eau ;
- coulées torrentielles dans le lit de torrents au moment des crues ;
- lahars liés à l'activité volcanique.

### 1.4.4 L'érosion littorale

Les zones littorales sont soumises à un recul quasi généralisé :

- glissements ou effondrements dans le cas de côtes à falaises du Nord-Pas-de-Calais, en Normandie et la Côte Basque...

- érosion dans le cas de côtes basses sableuses : chaque année 800 km reculent de 1m et 1000 km reculent de 0,5 m.

Le plus souvent lente et progressive inférieure à 0,5 m/an, cette érosion peut être spectaculaire lors de fortes marées et de tempêtes, brutale de 5 à 10 m en un seul hiver en Vendée, 100 m en 2 heures à la Pointe de la Coubre.

## **2 Les enjeux :**

### **2.1 Humains :**

Des dizaines dizaine de morts par an, résultant essentiellement des mouvements rapides.

### **2.2 Matériels :**

Endommagement, destruction, interruption d'activité, perte de production, obstruction de voies de communication, gel de terrains pouvant toucher, en montagne, des villages entiers. Dans certaines régions du globe, le coût annuel peut atteindre quelques millions d'euros.

### **2.3 Environnementaux :**

Destruction de forêts, recul du littoral, modification des systèmes d'écoulement superficiel, modification des paysages...

## **3 La prévention :**

La prévention des risques et la protection des populations nécessitent des mesures collectives et individuelles.

### **3.1 Vigilance :**

Face à des mouvements de terrain déclarés, elle consiste, à partir de mesures topographiques, d'études géologiques et géomécaniques, à élaborer un modèle interprétatif. On dénombre trois types d'évolution :

- état stationnaire : la déformation évolue régulièrement. Le risque de rupture soudaine très faible, nécessite cependant de maintenir la surveillance ;
- amortissement : la déformation diminue, le risque de rupture aussi, mais le mouvement peut reprendre ;
- aggravation : le mouvement évolue vers la rupture. L'expert doit juger de la gravité de la situation, des délais de rupture et donc de l'opportunité d'une évacuation.

Mais ces phénomènes complexes et les profils délicats à interpréter, obligent l'expert à suivre plusieurs paramètres pour valider en permanence le modèle de comportement du mouvement qu'il a élaboré. Les plans communaux d'alerte, d'information des populations, d'évacuation et de secours ont été, sont ou seront réalisés pour les communes menacées. Ils prévoient des « scénarios catastrophes », prennent en compte les caractéristiques des populations concernées, les secours, les voies de communication, les itinéraires et moyens d'évacuation, les lieux d'hébergement

### **3.2 Aspects législatifs et documentaires : Cartographie des aléas et zonage**

La manifestation des mouvements de terrain est variable. Chaque événement est unique et ne se reproduit pas dans les mêmes conditions. Toutefois ceux connus et constatés, constituent des indices essentiels. À partir de ces données sont déterminés des aléas de référence pris en compte pour réaliser les plans nécessaires à des aménagements durables et préserver la sécurité des personnes et des biens. Les cartes de zones exposées aux risques de mouvements des sols (cartes Zermos) permettent d'effectuer un zonage du territoire en fonction de l'intensité, de la gravité et de la probabilité d'apparition des mouvements de terrain. Ce zonage nécessite une analyse des événements passés et des facteurs d'instabilité comme la pente, la géologie, la météorologie... Ces cartes, sans valeur juridique ni réglementaire, servent de base à l'établissement des plans d'exposition aux risques (PER mouvement de terrain) devenu plans de prévention des risques (PPR). Ils intègrent le risque mouvement de terrain dans les documents d'urbanisme (PLU), en définissant trois zones, les couleurs définissent le niveau de l'aléa :

- zone rouge, inconstructible ;
- zone bleue, à risque moyen, des mesures de protection peuvent être prises (maîtrise des eaux de ruissellement, respect de la stabilité précaire des pentes...) ;
- zone blanche, présumée sans risque.

### **4 Démarche scientifique et moyens de mis en œuvre :**

L'estimation des aléas naturels et de la vulnérabilité des infrastructures fait appel à des compétences diverses :

- le géologue et l'hydrogéologue, par leur analyse des sites naturels peuvent qualifier les types

de glissement, estimer la nature, le volume et les propriétés structurales des massifs affectés par les mouvements de terrain, définir les types de discontinuités impliquées dans le processus, préciser la structure des écoulements souterrains et évaluer la zone d'extension,

- le géotechnicien et le mécanicien des sols peuvent quantifier les propriétés mécaniques des terrains concernés et modéliser les zones à risques pour quantifier le degré de sécurité ou la sensibilité de l'état actuel à la variation de certains paramètres (modification du régime hydraulique, aménagement du site...).

En combinant ces compétences nous pouvons conduire une approche plus proche de la réalité, dans laquelle par exemple, la modélisation numérique intègre les données issues du terrain (données locales issues d'essais de laboratoire, mais aussi données géomorphologiques issues de l'observation des sites).

## **5 Exemples d'application :**

Les applications récentes ont porté sur :

- l'établissement de cartes de risque et de vulnérabilité en rive droite de la Garonne,  
- la modélisation de plusieurs glissements de grande ampleur en zone pyrénéenne (vallée d'Aspe) et l'évaluation de la sensibilité du résultat à l'incertitude sur les données.

Les méthodes géophysiques ont contribué à l'analyse de ces phénomènes en identifiant la topographie du cryptorelief dont le rôle dans le déclenchement du phénomène est important, en localisant les circulations d'eau dont l'effet est capital, en caractérisant les glissements en fonction de leur morphologie (glissements profonds, glissements hypodermiques...). De nombreuses méthodes géophysiques ont été mises en œuvre dans cette optique. Les plus efficaces sont en ordre décroissant : les méthodes électriques (pseudosections de résistivité, polarisation spontanée), le TDEM (électromagnétisme en domaine temporel), l'électromagnétisme, la sismique réfraction.

Les perspectives portent à la fois sur la prospection et la modélisation. L'utilisation de moyens géophysiques et/ou géotechniques légers devrait par exemple permettre de préciser les épaisseurs des zones potentielles de glissement. L'intégration de la structuration spatiale des

propriétés physiques et mécaniques conduira par ailleurs à une estimation plus fidèle des risques potentiels.

## **6 Rôles des Systèmes d'Information Géographique :**

Les systèmes d'informations géographiques (SIG), sont des outils informatiques qui permettent de réaliser des superpositions cartographiques et des traitements de l'information sur ordinateur. Les différentes cartes existantes (topographie, localisation de phénomènes naturels, zones habitées...) sont numérisées et organisées dans le SIG pour pouvoir être superposées les unes aux autres pour analyser, comprendre et modéliser des situations particulières et de comprendre l'organisation dans l'espace des différents objets. Quels sont les terrains géologiques les plus propices aux mouvements de terrain ? Quels sont les secteurs d'une ville le plus souvent inondés ?

Les SIG sont des outils intéressants car les documents informatiques peuvent être modifiés et mis à jour facilement et rapidement. Lorsque les données sont stockées dans un SIG, il faut préciser l'échelle de validité de l'information (1/1 000 000, 1/25 000, 1/100...), ainsi que le système de projection géographique utilisé et si l'on superpose des cartes numérisées sous des systèmes de projection différents, on obtiendra des représentations erronées (pont à côté de la route, maison en mer...)

### **ü Conclusion :**

Les chercheurs du domaine des risques naturels, se voient désormais dans l'obligation d'intervenir en conformité avec leurs prérogatives de puissance publique relative à la sécurité. D'un côté, ils sont confrontés aux inquiétudes et aux pressions des divers segments de la société civile et de l'autre, ils sont soumis aux incitations d'instances d'organismes internationaux (conférences de Rio, de Kyoto, de Johannesburg...) relayées par les directives de l'Union européenne.

Au cours des dernières décennies, les réponses sont passées d'une attitude de simple prudence à des stratégies élaborées de prévention et, plus récemment, à des actions fondées sur le principe de précaution. La perspective de précaution intègre la prévention dans la mesure où elle désigne l'ensemble des dispositions destinées à empêcher des menaces précises dans le

court terme ou à réduire et limiter les risques à plus long terme. Retenu en France comme un des principes directeurs de la politique de l'environnement depuis la loi Barnier de 1995 et consacré par la Charte de l'environnement introduite dans la Constitution, le principe de précaution permet en outre de pouvoir adopter des mesures effectives pour prévenir un risque de dommages graves et irréversibles, même en l'absence de certitudes compte tenu des connaissances scientifiques du moment.

Simultanément, les approches méthodologiques se sont précisées. D'une part, on s'efforce d'identifier l'ampleur, le déroulement du risque redouté à partir du retour d'expérience d'une catastrophe récente ou en faisant appel à la mémoire collective, aux documents d'archives.

D'autre part, on cherche à prévoir l'occurrence de l'aléa par des démarches probabilistes ou déterministes. L'approche probabiliste, qui s'appuie notamment sur des SIG (systèmes d'information géographique) nous sera certainement une réponse appréciable à ce genre de préoccupation.

## Ü Introduction :

La mise en œuvre des systèmes d'information géographique touche tous les domaines d'activités. Ces outils intéressaient à l'origine les gestionnaires institutionnels, les opérateurs de réseau, les analystes de territoires ...

Les systèmes d'information géographiques tirent leur spécificité des liens qu'ils établissent entre informations caractéristiques des composants d'un territoire et ce territoire.

La définition de chacun des composants, *système d'information géographique* contribue à en préciser le contour :

ü *Système d'information* : ensemble de composants inter-reliés qui recueillent de l'information, la traitent, la stockent et la diffusent afin de soutenir la prise de décision et le contrôle au sein de l'organisation [JAC03].

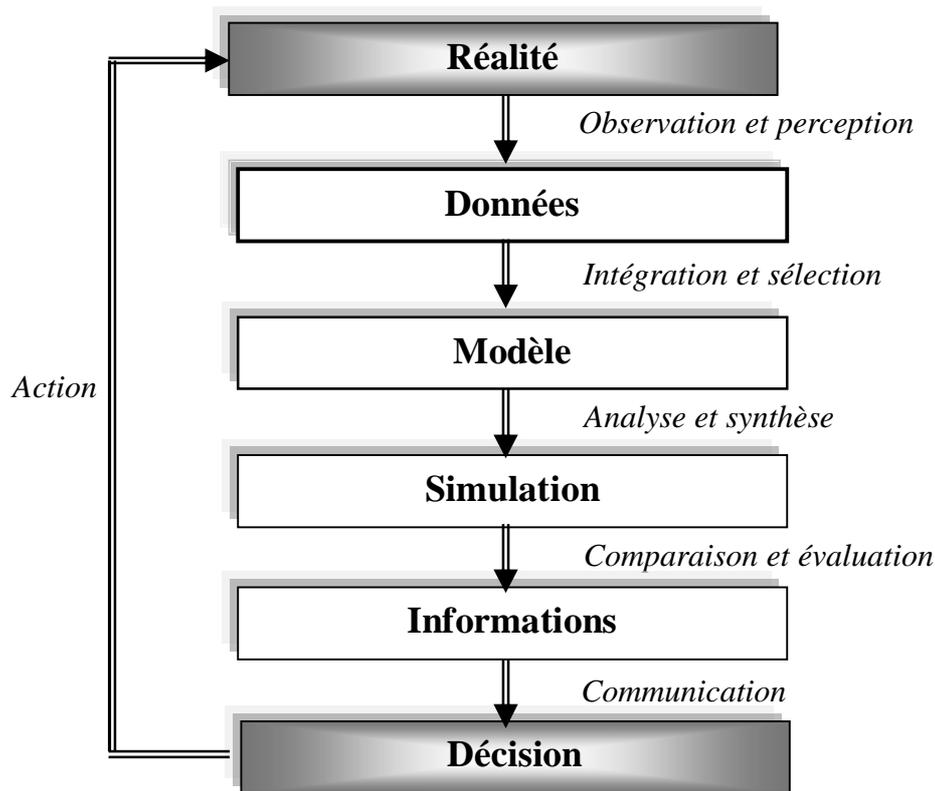
ü *Information géographique* : l'information est dite géographique lorsqu'elle se rapporte à un ou plusieurs lieux de surface du globe terrestre. Cette information possède la caractéristique d'être localisée, repérée ou géocodé [MIC96].

Un système d'information géographique a donc comme finalité de renseigner sur un territoire en localisant les informations nécessaires pour aboutir à un processus de décision.

L'information géographique, de la même manière a été développée pour asseoir mes visées expansionnistes à chaque étape de l'histoire des civilisations et particulièrement au cours des épisodes belliqueux. « ...Celui qui ne connaît pas la topologie des montagnes et des forêts, des passes dangereuses et des marais, ne peut faire avancer ses armées. Celui qui n'utilise pas les guides locaux ne peut pas tirer parti du terrain. De ces quatre ou cinq points, celui qui n'en connaît pas un, ne possédera jamais l'armée d'un hégémon ... » [SUN98].

Ce sont bien les liens entre les informations elles-mêmes et leur localisation qui fournissent les éléments nécessaires à la prise de décision.

Nous pourrions bien résumer le fonctionnement d'un système d'information géographique par la figure II.1



**Figure II.1 :** Schéma de mise en œuvre d'un SIG.

## 1. Concepts de base :

### 1.1 Information géographique et représentation :

L'information géographique s'apparente à la relation entre des données descriptives d'un objet et de sa localisation géométrique sur la terre. Il y a ainsi une mise en correspondance de deux types de données et deux types de méthodes de représentation.

- le texte géographique chargé de sémantique
- la carte géographique

#### 1.1.1 Le texte géographique :

Ce type de texte a plusieurs dimensions. Il nous fournit des informations typologiques : la nature de l'habitat, par exemple, (qui peut être défini à partir de types prédéfinis et de répartition statistique), des informations quantitatives (descriptions de paysages, d'organisations urbaines ...).

L'organisation des informations dans le texte géographique et l'utilisation de tous les outils de la langue en cours permettront de définir une « *grammaire géographique* ».

### **1.1.2 La représentation cartographique :**

La représentation cartographique comme support de la connaissance semble avoir préexisté à l'écriture. Ainsi les premières fresques représentaient souvent des scènes de la vie courante et étaient essentielles pour assurer l'existence de ses concepteurs. Ces fresques permettaient de fixer des informations à transmettre de génération en génération. Ces informations touchaient à la navigation, mais aussi à la délimitation et au partage de territoires de chasse. Ces scènes étaient représentées sur fonds itinéraires, de repères géographiques. La première carte daterait de 3000 ans avant Jésus-Christ. L'invention de la carte précède celle de l'écriture. Les traces de ces deux médias ont été découvertes en Mésopotamie. L'évolution des civilisations a vu la cartographie évoluer, la taille des territoires représentés augmenter et la symbolique utilisée se préciser.

### **1.1.3 La conception cartographique :**

L'élaboration d'une carte est avant tout un acte de conceptualisation où se mêlent des niveaux de précision et d'abstraction très différents :

- précision de la carte topographique : son niveau de détail est adapté à l'échelle de représentation. Cette adaptation pose le problème de la pertinence des modes d'agglomération de données de type identique lors du changement d'échelle. La carte topographique sert de référentiel géométrique aux autres données.
- Classification et simplification des objets et des phénomènes représentés. Là aussi les choix nécessaires à l'agglomération de données identiques ou à la sélection de données pertinentes lors d'un changement d'échelle sont fondamentaux. Il en va de la lisibilité de la carte et de son adaptation à la problématique pour laquelle elle est conçue.
- L'expression graphique met en œuvre une palette de couleurs, de formes. Elle ne doit pas répondre à un souci d'esthétisme, mais au souci de compréhension de la carte. La complexité des choix est croissante avec la nécessité de représenter des phénomènes précis, mais aussi des données qualitatives, imprécises lorsqu'il s'agit de tendances.

## **1.2 Modèle conceptuel de l'information géographique :**

La réalité physique de l'information géographique est décrite par un volet géométrique et un volet sémantique. Cette information, repose sur deux dimensions : l'une sémantique, l'autre géométrique. La modélisation de ce type d'informations nécessite de déterminer au préalable un ensemble d'hypothèses simplificatrices qui permettront de décrire l'univers du territoire. Ces hypothèses toucheront tous les objets de cet univers. La cartographie sera elle aussi impactée.

### **1.2.1 Lien entre objets géographiques et localisation :**

Le lien entre objets géographiques et localisation devient plus important, la localisation intervient de façon essentielle dans la définition et l'interprétation d'un objet.

Exemple : l'objet route n'a pas de sens en lui-même, s'il ne supporte aucun trafic. Son importance est le rapport entre ses caractéristiques et son environnement ou avec l'importance des pôles qu'il relie, définiront son adéquation à la fonction attendue.

La relation entre objet et localisation est résolue simplement lorsque l'on considère que cette dernière est un attribut de l'objet. Cet attribut a une fonction particulière car il influe le comportement de l'objet (il y a une dépendance fonctionnelle entre l'espace et le temps avec le comportement de l'objet). L'attribut donnant la localisation est appelé attribut de localisation, pour le distinguer des autres attributs qui constituent l'information descriptive. Il restera à définir le système de référence absolu ou relatif.

### **1.2.2 Le modèle géométrique :**

C'est une représentation graphique qui doit rendre compte de la position et de la forme des objets géométriques ainsi que les relations spatiales entre ces objets.

Le système de coordonnées sera alors à adapter au type de forme.

### **1.2.3 La prise en compte de la connaissance dans l'information géographique :**

L'évolution de l'entropie du système terre, conduit la géographie à s'intéresser aussi à la connaissance pour établir un lien entre concepts du monde réel et modèles théoriques. La modélisation de la connaissance fait l'objet de méthodes d'analyse et de conceptualisation spécifique. Ces méthodes s'intéressent à l'exploration, à la découverte du système de connaissance sur plusieurs échelles simultanément.

Un système d'information géographique est un système de gestion de connaissance à part entière, il se construit comme une *ontologie*. Cette construction consiste à l'établissement de concepts hiérarchisées et de leurs relations et aussi pour chacun d'eux de la définition d'attributs [HER04].

## 2. Les principaux composants d'un SIG :

Les concepts définis, nous nous attacherons à décrire les principaux composants d'un SIG, au travers de leurs aspects logiques et organisationnel.

### 2.1 Les référentiels cartographiques :

Tout support d'information géographique, doit pour être exploitable préciser le référentiel géographique auxquels seront rattachées les informations. Plusieurs types existent, l'un est direct, il a un caractère géométrique et l'autre est indirecte, il se réfère à un ou plusieurs autres référentiels, il s'agit en particulier de référentiel administratif.

#### 2.1.1 Les référentiels géométriques :

La géodésie <sup>(1)</sup> a permis de décrire la forme, les dimensions de la terre et au final une surface mathématique de référence. Ainsi les coordonnées d'un point de la surface terrestre y sont définies par la longitude, la latitude et l'altitude par rapport à niveau 0, niveau moyen des océans.

#### 2.1.2 Les référentiels directs :

Ce type de référence fait appel à une description sous forme de texte de la localisation. Les positions relatives des objets ne sont pas explicites. Il est nécessaire pour exploiter ce type de référence d'avoir un dispositif intermédiaire donnant la correspondance entre ce système textuel et un référentiel géographique. Le cadastre est un exemple illustrant ce concept : les parcelles sont repérées sur les actes administratifs, ou sur la matrice cadastrale avec un numéro de parcelle, une section cadastrale, d'autres attributs dont le nom de propriétaire, la surface ... le plan cadastral permet de localiser la parcelle à partir de son numéro et de sa section. Le cadastre est actuellement en cours de numérisation par les services fiscaux. A l'échéance de cette opération, les parcelles seront directement localisables. Des dispositifs assurent le lien entre référentiels indirects et localisation :

---

(1) : Science qui a pour objet de déterminer la forme et dimensions de la terre.

À titre d'exemple la base de données Géoroute de l'IGN permet de localiser les voies de circulation avec les numéros d'îlots de chaque côté de la voie. Cette application développée par l'IGN est destinée à alimenter des systèmes de guidage embarqués.

## 2.2 La représentation graphique :

La géographie fait appel, au travers de la cartographie, aux vertus représentatives de l'image. Qu'il s'agisse du fond topographique ou des objets que le SIG représente, cette dimension graphique est l'axe essentiel pour l'utilisateur.

Deux modes techniques permettent de mettre en œuvre cette représentation ; le mode *raster* et le mode *vecteur*. Il est possible de passer d'un mode à l'autre : on parle alors de *vectorisation* ou de *rasterisation*. Ce pont possible entre les deux modes facilite entre autres l'acquisition de données : une carte numérisée peut être ensuite vectorisée avec identification des formes qu'elle contient.

### 2.2.1 Le mode raster ou matriciel :

La surface de l'objet est composée par de points ou de pixels. De leur résolution dépend la finesse de la représentation. la position est définie par rapport à la maille de la matrice nécessitant de repasser par un deuxième système de référence pour localiser en absolu le pixel. **Ce mode de représentation est le plus proche de l'informatique. Chaque pixel compte une information identifiant sa couleur et l'entité à laquelle il est rattaché.**

Ainsi une ligne ou une surface sont elles-mêmes définies par l'ensemble des pixels contigus dont la valeur de rattachement est identique. Plusieurs couches d'informations composées de pixels peuvent être superposées représentant chacune un thème particulier. A ce stade, la description des objets est implicite. Un lien peut être établi entre **le fichier raster et une table de données**, il permet la description des pixels, mais aussi le traitement des informations du fichier graphique. La relation spatiale entre les objets est implicite.

### 2.2.2 Le mode vecteur :

L'image est décrite par un ensemble d'objets : les SIG retiennent trois primitives de base qui permettent de recomposer la géométrie des objets, il s'agit de :

- 1- *des objets ponctuels*
- 2- *des objets linéaires*
- 3- *des objets surfaciques*

Un objet ponctuel sera localisé par un seul triplet de coordonnées. Un objet linéaire est une suite ordonnée de points. Chaque point est relié au suivant par un segment de ligne définie mathématiquement. Un objet surfacique est définie comme étant l'intérieur de son contour. Il est donc délimité par un objet linéaire fermé sur lui-même. On peut par extension définir des spécialisations d'objet surfacique. Par exemple un objet surfacique à trou est défini comme un objet surfacique dont une partie intérieure est délimitée par un objet linéaire fermé. Un objet volumique est un objet composé d'objets surfaciques. Une couche d'informations regroupe un ensemble d'objets qu'on souhaite représenter simultanément. La position des objets est exprimée par des coordonnées attachées à un système de positionnement [KHO05].

### **2.2.3 Les relations spatiales entre objets :**

Les relations spatiales entre objets sont, soit de type booléen (intersection, inclusion, adjacence par exemple), soit de type flou lorsque les critères de relations doivent être précisés (par exemple, la notion de proximité). Dans ces deux cas les relations peuvent être soit explicites (recalculées à chaque usage) ou implicites (calculées une fois et stockées). Les deux modes de relations spatiales sont utilisées entre les objets. Bien que, par nature, la description des formes issues du mode raster soit implicite, il est possible de rendre leurs relations explicites. C'est la théorie des graphes qui fournit les outils nécessaires à cette transformation.

### **2.3 L'acquisition des données :**

La construction d'un SIG est basée sur un ensemble de données graphiques, et textuelles dont une partie importante est fournie par des organismes spécialisés. Les données plus spécifiques feront ensuite l'objet d'acquisition par différents moyens en fonction de leur échelle et de leurs quantités.

### 2.3.1 Les données existantes de description de territoire :

Nous limiterons notre présentation, qui n'a de valeur que d'illustration et non d'inventaire, à la situation française. Ainsi l'Institut Géographique National (IGN) fournit la majorité des données nécessaires :

- La base de données cartographiques
- La base de données topographiques
- La base de données altimétriques
- La base de données routières

### 2.3.2 Les autres modes d'acquisition :

La démarche conceptuelle permettra de définir les classes d'objets nécessaires au SIG ainsi que leurs attributs. En dehors des sources de données citées précédemment, il sera nécessaire de procéder à l'acquisition directe des informations définies par la conceptualisation. Deux méthodes sont encore possible : s'il s'agit de données à grande échelle, il pourra être fait recours aux fournisseurs de données par télédétection, par la numérisation ou par vectorisation :

α **La télédétection spatiale** : Le développement et la maîtrise des satellites d'observation de la terre depuis plus de 30 ans ont permis de fournir les données précises en matière géographique. Ces informations sont essentiellement de deux types : des images et des données de géolocalisation, grâce en outre à l'avènement du GPS. L'échelle d'observation est mondiale et le rafraîchissement des données est peut être constant. Ainsi des sociétés comme Spot-Image. Landsat se sont spécialisées dans la fourniture des ces informations. Le niveau de résolution peut être très élevé, inférieur au mètre, elles permettent aussi l'extraction d'informations détaillées dans les domaines de la défense, de la surveillance, du géo-marketing, de la planification urbaine, de l'étude des grandes infrastructures ... Ces données sont fournies sous des formats directement importables dans les SIG.

α **La numérisation des informations** : Elle est souvent réalisée à partir d'un dispositif de numérisation (table à numériser). Outre la saisie des informations définissant les formes géométriques et géographiques par leurs coordonnées, il est nécessaire de saisir le contenu de l'information sémantique (attributs et relations).

Ces informations sont dans ce cas, saisies en mode vecteur. Il est possible de procéder par scannage, les fichiers résultats sont alors vectorisés pour en extraire les informations isolées.

### 2.3.3 Le géoréférencement :

Les données produites par télédétection et la saisie directe doivent être modifiées pour correspondre parfaitement au modèle et au référentiel géodésique. A cet effet, le SIG possède des fonctions de déformation qui permettent, à partir du recalage d'une partie des informations sur des points d'appui, de recaler l'ensemble de l'image. Le géoréférencement se décompose en une déformation de l'image et un rééchantillonnage de celle-ci.[SEB98]

## 2.4 Le support logique de l'information :

Nous avons pu le constater qu'au-delà de leur représentation graphique, les données géographiques étaient porteuses d'attributs et de relations. Nous avons pu mesurer également combien les informations géographiques se comportaient comme des objets (au sens informatique du terme), avec des types différents et des méthodes (modes de représentation pour *un point, un objet différent, un objet linéaire, un objet surfacique*). Les notions d'encapsulation, d'héritage y sont présentes. Ces caractéristiques conduisent à imaginer que le SGBD est le support d'information adapté et qu'au regard des particularités ci-dessus énoncées, un SGBD orienté objets représenterait des fonctionnalités pertinentes. Ce dernier n'assure pas les contraintes d'intégrité comme le fait un SGBD relationnel, à contrario il permet une modélisation plus complexe. Son langage de requête ne présente pas non plus les mêmes performances que SQL [BRU97].

Une alternative réside dans l'extension du modèle relationnel pour qu'il puisse intégrer des types propres à la géolocalisation, et donc les attributs qui prennent leurs valeurs dans un espace de dimensions 2 à 3. Cette extension du modèle peut être réalisée artificiellement, en utilisant trois attributs dont la concaténation définira une clé de localisation. Plusieurs éditeurs de SGBD ont modifié leur produit pour y intégrer cette particularité. C'est le cas d'IBM avec DB2 Spatial [IBM02] Extender, Oracle Spatial et Oracle Locator. SQL a officiellement intégré cette évolution avec une version spécifique : SQL/MM qui introduit de nouveaux types abstraits de données : géométriques, topologiques, métadonnées.[JIM02]

## 2.5 Les fonctionnalités d'un SIG :

On peut rapidement décrire les fonctionnalités attendues d'un SIG, la littérature dans le domaine évoque « les 5 A d'un SIG » :

1. **Abstraire** : le module d'abstraction regroupe les outils de définition des données. A ce titre des fonctionnalités de conception du schéma conceptuel des données peuvent y être intégrées. D'autres fonctions permettent de construire les dictionnaires de données et de contraintes à partir du SCD.
2. **Acquérir** : ce module intègre deux types d'outils, les fonctions d'importation de données, et les fonctions de numérisation.
3. **Archiver** : ce module s'appuie sur le support de stockage d'informations. Les fonctions d'interrogation sont traitées par un langage assertionnel qui transforme les termes de la requête de l'utilisateur en élément d'algèbre relationnel.
4. **Analyser** : ce module contient les fonctions qui différencient les SIG entre eux. A ce titre on peut remarquer les fonctions de manipulation de données qui ne génèrent pas de nouvelles connaissances, les fonctions d'analyse, ce sont elles qui évoluent le plus vers les outils d'aides à la décision, et dernier domaine de développement qui sera traité dans un des paragraphes suivants, la notion de généralisation.
5. **Afficher** : ce dernier module intègre tous les outils de restitution des traitements, leur finalité tient dans la matérialisation physique des phénomènes spatiaux, et de leur interaction avec les données sémantiques, un mode hypertexte peut être retenu.

## 2.6 L'organisation :

Comme tout système d'information, la mise en place, la gestion, l'exploitation d'un SIG nécessite une démarche de projet et de moyens à mettre en œuvre. A chaque étape, une organisation spécifique sera mise en œuvre : pilotage, étude, groupes de travail, mais la formation et l'évaluation composeront des clés de cette mise en œuvre. Cette démarche prend ici une dimension particulière au regard de la multiplicité des types de données qu'un SIG peut accueillir.

### 3. Les domaines d'application des SIG :

L'utilisation d'un SIG sera à priori pertinente dans tous les domaines dans lesquels des entités, objets, informations localisables sur un territoire, permettent par leur connaissance d'aboutir à des processus de décision. Un premier essai de typologie pourrait être bâti sur le degré d'utilisation, entre outil de connaissance et outil d'aide à la décision.

#### 3.1 Les usages d'un SIG :

Un système d'information géographique s'intéresse aux relations possibles entre entités et territoires. Une entité est assimilable à un objet. Elle sera donc décrite et localisée par des attributs, et des relations d'autres entités. On pourra s'intéresser à (voir figure II.2) :

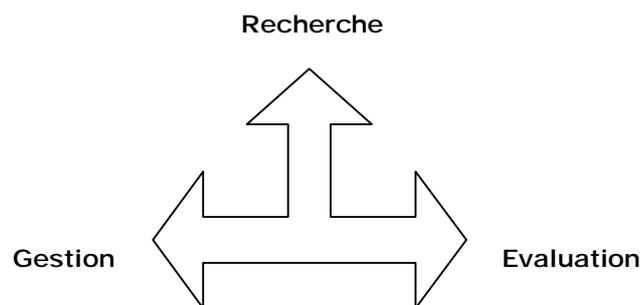


Figure II.2 : Différents usages des SIG

- F **La gestion d'un objet permet en particulier** : Ce premier usage permet une forme d'accès à l'objet soit par le système d'information classique, soit par l'interface graphique. C'est un premier usage du SIG, il offre une alternative au système de requête classique. Il offre de plus la représentation cartographique des résultats des requêtes.
- F **L'évaluation** : Ce mode d'utilisation regroupera les fonctions de recensement, qu'il s'agisse d'un objet spécifique, d'un ensemble d'objets appartenant à une classe d'objets localisés sur un territoire donné.
- F **La recherche** : Dans ce domaine d'utilisation, ce sont les fonctions, d'exploration qui permettront de découvrir des relations entre données seules ou entre données et localisation qui seront mise en œuvre, mais aussi des fonctions de simulation (avec prise en compte d'interaction entre les objets).

### **3.2 Les utilisateurs des SIG :**

L'approche par les modes d'utilisations apporte un premier éclairage quand aux possibilités fonctionnelles d'un SIG. Une typologie des utilisateurs précise le périmètre et illustre les cas d'utilisation possibles.

#### **3.2.1 Suivi, évaluation et définition de politique :**

Il s'agit plus particulièrement d'ontologie spatiale destinée à mesurer l'intensité et comprendre la nature de phénomène. A ce titre on trouve toutes les applications dans le domaine de l'urbanisme, de la politique du logement, mais aussi de l'environnement ...

#### **3.2.2 Gestion opérationnelle :**

Il s'agit d'une utilisation classique d'un système d'information, le SIG y apporte la localisation des objets, qu'ils soient statiques ou dynamiques. Les gestionnaires de territoires, y trouvent un support pour la gestion des risques ( inondations, zones instables, avalanches ... ). Les gestionnaires de réseau utilisent le SIG pour suivre l'évolution des caractéristiques dans le temps d'objets souvent linéaires, qu'il s'agisse d'opérations de maintenance, d'entretien ou de modernisation, mais aussi pour mesurer l'interaction avec les composantes de l'environnement du réseau (gestionnaire de réseaux d'eau potable, électrique, télécommunication ... ).

#### **3.2.3 La recherche :**

Certainement, c'est un nouveau secteur de développement pour les SIG. Il utilise les possibilités de recherche de relations à priori non identifiées entre objets. Ce sont les fonctions qui permettent de découvrir les relations entre objets et donc des phénomènes qui seront alors utilisés. Ces fonctions s'appuient sur les opérateurs topologiques qui caractérisent les intersections élémentaires entre deux objets d'un plan ou d'un espace.

Si les SIG peuvent être utilisés comme support de concertation dans les domaines de l'urbanisme, de l'aménagement, de la prévention des risques naturels par exemple, les décideurs seront enclins à s'appuyer sur les données issues des synthèses et des restitutions pour argumenter leur décision [EMM04].

Dans cet exemple choisi, c'est la maturité de ces technologies et de leur emploi qui permet, après l'utilisation des fonctions d'analyse spatiale, de mettre en oeuvre des processus de décision.

### **Ü Conclusion :**

La construction d'un système d'information géographique nécessite, pour les maîtres d'ouvrage et les utilisateurs, de maîtriser quelques concepts fondamentaux. Aussi les acteurs de la construction du SIG doivent s'accorder au préalable sur les finalités du système à construire (processus de gestion), de décision ou d'évaluation. Cette étape est essentielle, elle en déterminera le périmètre et le contenu détaillé. Elle sera aussi la garantie de l'implication des différents acteurs. Cette finalité sera caractérisée par les dimensions données au système d'information : gestion de données localisées, évaluation de données, systèmes d'aides à la décision.

Nous pensons également que l'utilisation de nouvelles approches, comme les ontologies spatiales, et qui feront l'objet du prochain chapitre nous donneront l'opportunité de maintenir et d'améliorer l'état des systèmes d'informations géographiques.

## Ü Introduction :

Comme les autres sciences, celle de l'information géographique et spatiale commence par la description de la réalité de son objet, avant même tout début d'investigation ou tentative d'élucidation. Une telle description consiste à isoler les parties les plus élémentaires du champ et à observer les liens qui semblent se dessiner entre elles. Il est donc nécessaire d'identifier clairement non seulement les entités sur lesquelles la réflexion et le raisonnement pourront s'appuyer, mais aussi les relations apparaissant entre ses entités. En l'occurrence, en information géographique, les entités et relations seront des entités et relations dans l'espace. Cet espace peut être envisagé de deux manières différentes :

- 1) Géométrique (on mesure des distances, des angles) : reposant sur la notion de point, de coordonnées,
- 2) Topologique : dans ce cas, ce n'est pas l'espace qui est mesuré, mais les relations entre entités de l'espace qui seront révélées.

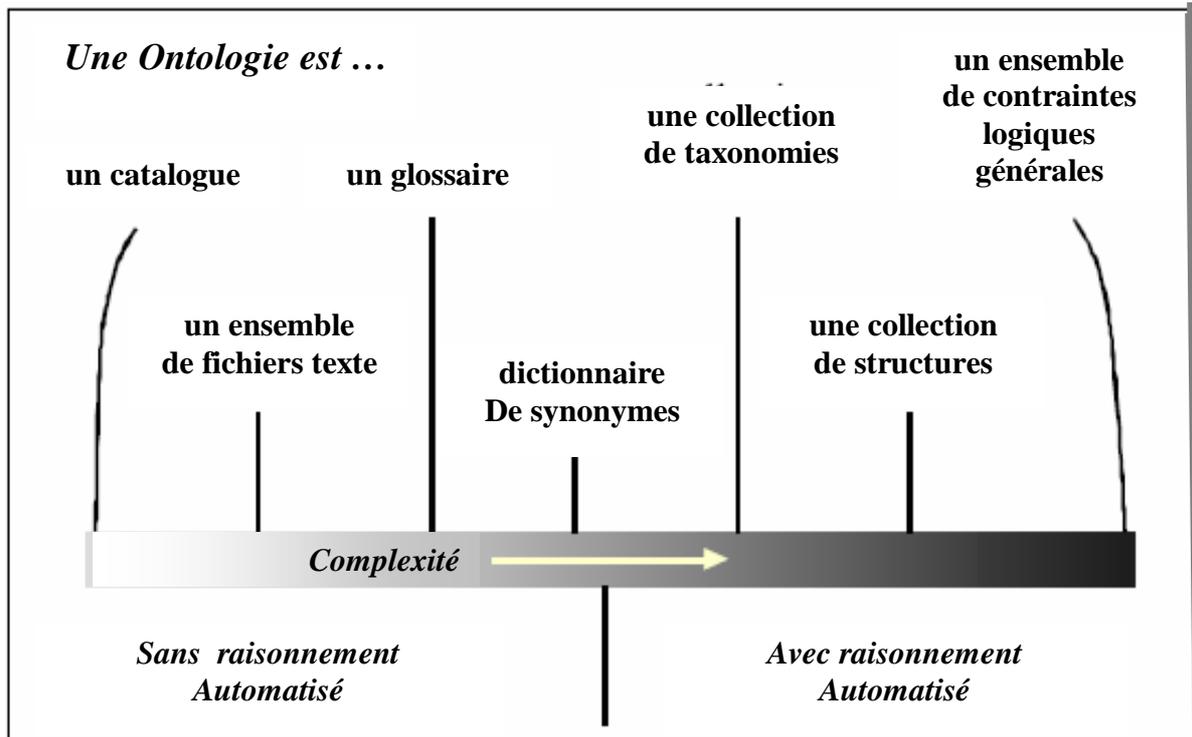
Les ontologies sont une voie prometteuse pour décrire et partager des informations agréées par une communauté de personnes, accessibles sur le Web. Cependant différents types d'ontologies peuvent être considérées selon leurs contenus et leurs utilisations

Nous aborderons dans ce chapitre, en premier lieu les généralités ontologiques qui serviront de cadre à notre étude.

### 1. Fondements ontologiques :

L'Ontologie ( *ontos* : être, ce qui est ; *logos* : mot, discours, raison ) est l'ensemble du discours, du raisonnement sur ce qui *est*. Aristote, le premier définit l'Ontologie comme la partie de la métaphysique qui s'intéresse à l'être en tant qu'être ( la métaphysique tentant d'une manière générale d'élucider la question de l'être) [ARI53]. L'Ontologie est donc avant tout une branche de la philosophie qui s'intéresse à la réalité, à sa nature, et à la façon dont celle-ci est organisée. Par extension, l'Ontologie, qu'elle soit exposée de manière explicite sous forme d'ontologie formelle ou demeure implicite, est un élément important pour l'investigation scientifique, dans la mesure où l'on est amené à définir d'une façon ou d'une autre les phénomènes observés.

Nous avons la figure III.1, qui pourra nous donner plus d'informations :



**Figure III.1 : Représentation de l'ontologie**

Les ontologies formelles fournissent les cadres pratiques de description des entités et des relations d'un champ de connaissances donné.

Une ontologie formelle consistera par conséquent en une conceptualisation aussi complète que possible d'une partie de la réalité telle que l'on se la représente (on pourrait donc dire « d'une réalité » puisque les représentations peuvent changer suivant de nombreux facteurs) à un niveau de granularité donné.

## 2. Définition d'une ontologie :

Une ontologie est par définition une représentation d'un consensus entre une communauté de personnes qui peuvent être amenées à compléter ou modifier cette ontologie même si elle comporte déjà des instances.

Une ontologie a vocation à décrire le monde réel et à rendre les informations modélisées accessibles et partageables.

Nous avons la modélisation suivante, qui pourra apporter plus clarté :

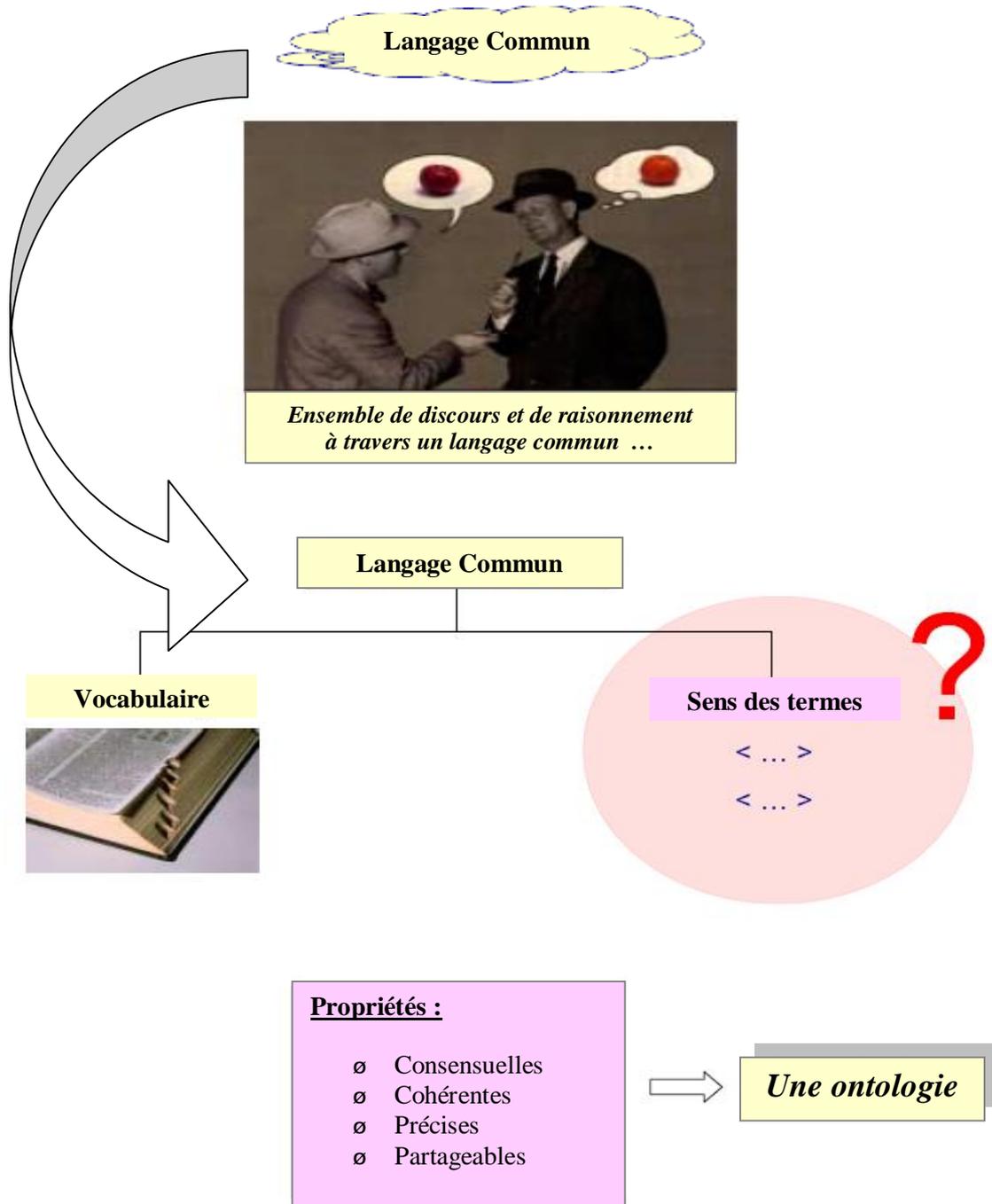


Figure III.2 : Modélisation de l'ontologie

### 3. Comparaison ente Ontologie et Base de données :

- F** Au contraire des bases de données, dont le schéma est défini avant la définition des instances et qui impose un certain nombre de critères de cohérence et de règles d'intégrité incontournables lors de l'insertion, la suppression et la mise à jour des données, la modélisation d'une ontologie doit permettre une certaine flexibilité dans sa définition et son évolution, ce qui signifie notamment que les informations (schémas ou instances ) peuvent être incomplètes et que les mises à jours peuvent être faites sans avoir une connaissance complète des informations de l'ontologie.
- Cela nécessite donc la mise en œuvre d'outils qui permettent de vérifier la cohérence du schéma mais aussi des instances de façon dynamique.
- F** L'interrogation d'une ontologie diffère de l'interrogation d'une base de données selon différents points. Une ontologie est en générale une source de données complexe, souvent incomplète et évolutive dans le temps. Le simple utilisateur qui souhaite accéder à l'ontologie effectue des recherches exploratoires voire incrémentales pour obtenir les informations qu'il souhaite.
- F** A la différence des bases de données, les utilisateurs des ontologies n'ont pas en général une connaissance globale du schéma de l'ontologie et doivent donc disposer d'un langage capable d'interroger à la fois le schéma de l'ontologie pour en découvrir son contenu et ses instances de façon homogène.

### 4. L'interrogation d'une ontologie :

L'interrogation d'une ontologie se caractérise par deux aspect importants :

- 1) La possibilité d'interroger ou d'explorer le schéma aussi bien que le contenu de l'ontologie.
- 2) Le raisonnement sur les concepts et les instances de l'ontologie.

**Exploration du schéma :** elle doit permettre d'obtenir des informations sur les concepts existants, les relations liées à un concept, les propriétés des relations (symétrique, transitive, inverse) si elles existent et tous les éléments du schéma.

**Explorations des instances** : les systèmes issus des BD s'appuient sur es langages de requêtes à la SQL qui offre une large panel de fonctionnalités pour interroger les instances de la base et permettent aussi de créer de nouveau ensemble d'objets.

**Raisonnement** : certaines requêtes aussi bien sur le schéma que sur les instances peuvent nécessiter la mise en œuvre de mécanismes de raisonnement comme par exemple la classification d'un concept dans une hiérarchie, connaître les concepts qui subsument un concept et vice et versa.

### 5. Construction d'une ontologie :

Il existe plusieurs façons de construire une ontologie, selon que l'on cherche à identifier directement les entités pertinentes à considérer, ou bien que l'on s'attache à relever les lois régissant le système en cours d'étude. Cependant, on peut distinguer trois schémas principaux de démarche pour la construction d'une ontologie :

- i. Par la détermination directe de catégories. Une telle démarche, même si elle peut avoir l'observation comme point de départ, est arbitraire ou du moins biaisée, dans le sens où ce n'est pas la réalité qui est ainsi retranscrite, mais la perception et sa catégorisation à travers les *habitus* de l'ontologiste ou de celui qui en tien lieu pour l'occasion. Par *habitus* nous entendons «expérience, état d'esprit, arrière pensée conscientes ou non ... »
- ii. Par la détermination d'axiomes et de primitives, qui instaurent les cas échéant des catégories en guise de conséquence : la justification peut donc sembler plus solide. On pose des principes qui font loi : rien de ce que l'on pourra concevoir dans ce système ne pourra entrer en contradiction avec ces règles de bases.
- iii. Par l'élaboration d'une théorie globale : l'ontologie pouvant alors demeurer implicite, ou s'expliciter en dérivant de ladite théorie un dictionnaire ou une encyclopédie définissant les entités les unes par rapport aux autres.

Ces trois types d'approches peuvent être initiées de différentes façons [PEI 31-58] :

- 1) Par déduction : d'un ensemble de règles de départ (axiomes, primitives, principes) on dérive logiquement le cas particulier, puis le résultat auquel doit conduire ce cas ;
- 2) Par induction : partant de l'expérience concrète, on essaye de reconstruire le cas général auquel satisfait l'expérience, permettant par la suite d'inférer une règle régissant les conditions des cas généraux (théories ou éléments de théorie) ;
- 3) Par abduction : à partir de l'expérience concrète, l'on essaye d'inférer une règle (théorie), et l'on en évalue la pertinence via l'adéquation entre les cas d'espèce que l'on peut en déduire et l'expérience concrète.

## 6. Ontologie et information géographique et spatiale :

Ce qui *est*, est dans l'espace et le temps puisque qu'une théorie de l'information ne peut se représenter que de façon spatio-temporelle au sens le plus large [COU98].

On peut envisager deux approches complémentaires pour la construction d'ontologies pouvant être utilisées pour exprimer une même information (spatiale ou spatialisée) sous différents aspects.

Une ontologie de type SNAP, photographie une situation à un instant donné (et formée d'entités considérées comme éternelles) met les entités en évidence sans intervention du temps. Les relations existant entre elles sont considérées comme intemporelles.

L'évolution des technologies et d'Internet suscite un besoin croissant de partage d'informations sur le Web qui passe par la compréhension des informations mise à disposition et une automatisation des processus de navigation, d'extraction ou de mise à jour de ces informations. L'information géographique n'échappe pas à ces nouveaux besoins. Une réponse prometteuse à ces objectifs est le développement des ontologies. Les ontologies permettent la spécification de connaissance agréées par une communauté de personnes et partageables sur le Web. Ce partage nécessite la représentation de la sémantique des informations afin de les rendre compréhensibles à une communauté d'utilisateurs relativement à un domaine ou à une activité. Plusieurs modèles ont été développés pour la modélisation des ontologies qui trouvent leurs fondements dans domaines comme l'intelligence artificielle, la représentation des connaissances ou les bases de données.

Les logiques de descriptions et les outils d'inférences afférents connaissent un nouvel essor pour la modélisation des ontologies. L'information géographique est actuellement le parent pauvre de ce foisonnement et les ontologies spatiales restent à construire.

## **7. Différents types d'ontologies :**

Le développement des technologies Internet ouvre de nouveaux horizons dans le domaine de partage d'informations. L'information géographique n'échappe pas à cette tendance et les besoins de modèles, de méthodes et d'outils adaptés pour représenter, manipuler et partager l'information géographique sur le Web deviennent cruciaux. Ce partage d'informations passe par leur compréhension et une automatisation des processus de navigation, d'extraction et de mise à jour de ces informations. Les ontologies sont une voie prometteuse pour décrire et partager des informations agréées par une communauté de personnes, accessibles sur le Web. Cependant différents types d'ontologies peuvent être considérées selon leurs contenus et leurs utilisations.

**7.1 Les ontologies de types thesaurus :** Ces ontologies, aussi appelées taxonomiques, visent à définir des termes pour fournir un vocabulaire de référence pour harmoniser les noms désignant des données dans différentes applications. Les termes sont organisés en hiérarchies de généralisation/spécialisation et des relations de synonymes, composition ... peuvent être spécifiées. On peut considérer ce type d'ontologie comme la première génération d'ontologies. Elles sont essentiellement utilisées de façon exploratoire pour apporter une compréhension commune d'un vocabulaire. Mais les besoins de modélisation et de partage d'informations plus complexes ont conduit à une évolution des ontologies vers des modèles plus riches.

**7.2 Les ontologies descriptives :** Elles visent à modéliser un domaine ou une activité. Elles sont plus proches de la définition de schémas conceptuels des bases de données et s'attachent à modéliser les informations à l'aide de concepts et de relations sémantiquement riches. Ces ontologies peuvent être utilisées comme un outil de compréhension des structures de données décrivant les concepts du domaine (dans ce cas elles peuvent ne pas posséder des instances), ou bien, si elles possèdent des instances, elles peuvent être utilisées comme des bases de données, notamment en étant accessibles au public via le Web.

### 7.3 Les ontologies géographiques : Elles recouvrent :

**7.3.1 Les ontologies de l'espace :** plus spécialement dédiées à la description des concepts qui caractérisent l'espace comme le point, la ligne ... etc (voir figure III.3). Ces ontologies sont typiquement élaborées par des grands organismes de normalisation.

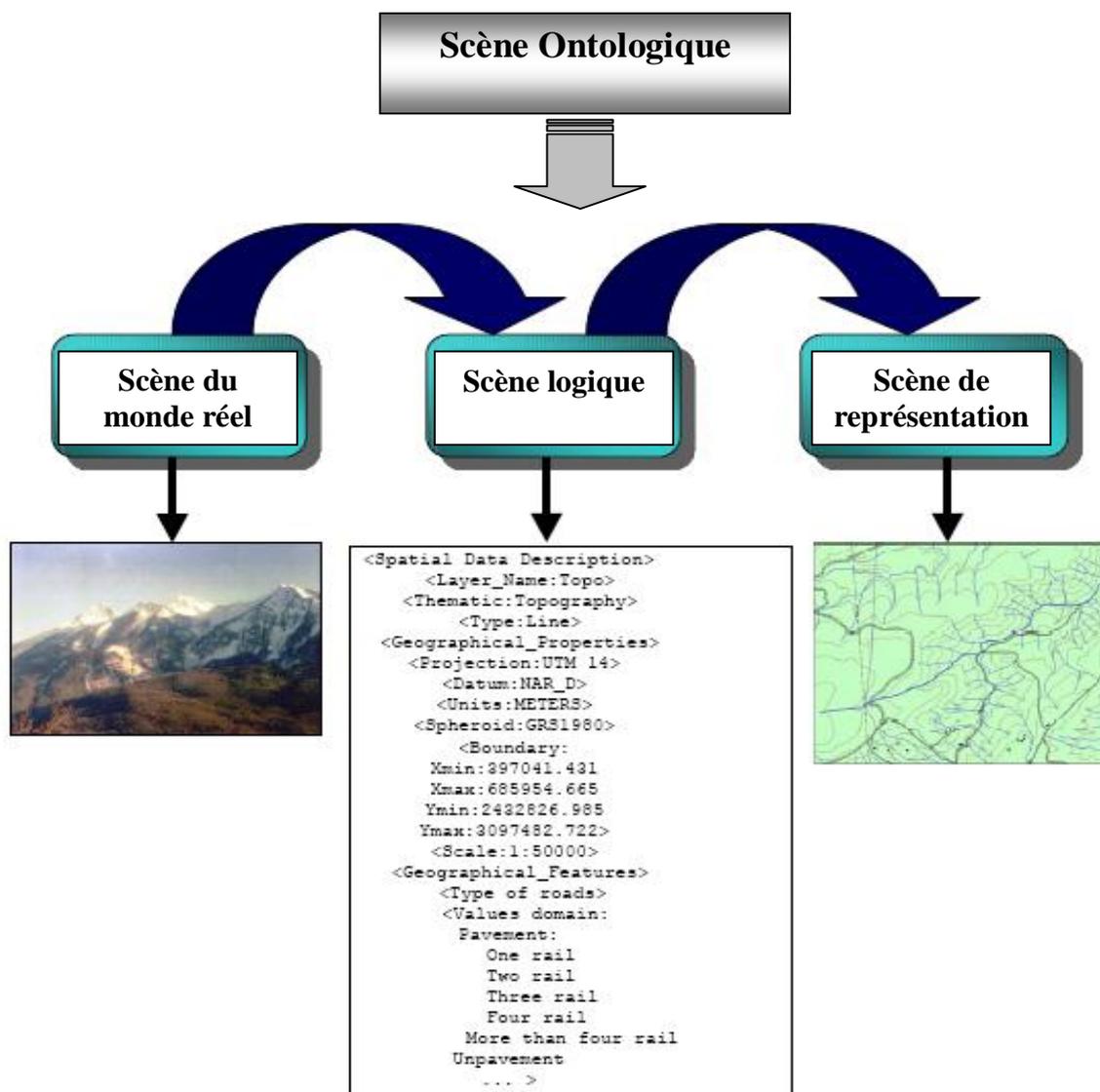


Figure III.3 : Modélisation d'une ontologie de l'espace

**7.3.2 Les ontologies de domaines géographiques :** comme une ontologie modélisant les concepts des données hydrauliques, ou bien une ontologie décrivant les concepts des données des réseaux électriques,... Ce sont des ontologies « métier », développées par une communauté d'utilisateur du domaine concerné.

**7.3.3 Les ontologies spatialisées (ou spatio-temporelles) :** qui sont des ontologies dont les concepts sont localisées dans l'espace. *Une composante temporelle* est souvent nécessaire en complément pour la modélisation de l'information géographique, car les applications géographiques manient aussi très souvent des données temporelles, voir spatio-temporelle.

**Remarques :**

- Les ontologies de l'espace et de domaines géographiques peuvent être de type thesaurus si elles sont limitées à la description de vocabulaire ou bien descriptives si elles incluent une description plus complexe ou sémantiquement plus riche de l'espace ou du domaine considéré.
- Les ontologies spatio-temporelles sont typiquement descriptives et peuvent s'appliquer à tout contenu nécessitant une modélisation localisée dans l'espace et le temps.

**7.3.3.1 Composantes de l'ontologie spatiale :**

L'ontologie spatiale a quatre composantes, dont chacune à ses propres primitifs et ses propres relations, et est en interaction avec les autres:

- La méréologie;
- La topologie;
- La localisation;
- La morphologie.

**Remarque :**

*La méréologie* est traditionnellement considérée comme la théorie des parties et des tous, mais si elle permet de rendre compte de la notion de *partie*, elle n'arrive pas, faute de la notion de *connection*, à faire sens de la notion d'un *tout connecté* (vs. Un *tout éparpillé*) d'où la nécessité de la topologie.

Le primitif de la méréologie est la notion de *partie*, pour laquelle on peut rappeler quelques principes de base [ANN04] :

1. *Chaque chose est une partie d'elle-même.*
2. *Deux choses distinctes ne peuvent pas être des parties l'une de l'autre.*
3. *N'importe quelle partie d'une chose est elle même une partie de cette chose.*

### 7.3.3.2 Les besoins des ontologies spatiales :

Les ontologies spatiales ont des besoins spécifiques qui sont liées aux besoins suivants :

- Définir la spatialité à l'aide de types de données spatiaux variés (ligne, point, surface simple ... ), de types d'objets spatiaux (c'est-à-dire ayant des attributs spatiaux), de relations spatiales comme les relations topologiques et/ou des champs continus (raster).
- Définir intentionnellement des concepts spatiaux à l'aide d'axiomes contenant des prédicats spatiaux.
- Reasonner sur la spatialité des instances, c'est-à-dire inférer à partir des relations spatiales décrites l'ensemble des relations valides.

#### Remarque :

Comme toutes ontologies, les ontologies spatiales peuvent être utilisées pour l'exploration, mais aussi l'extraction d'informations et au-delà pour l'inter opération de SIG.

### 7.3.3.3 Spécificités des ontologies spatiales :

Les besoins spécifiques des ontologies spatiales peuvent être identifiés selon quatre points :

1. la modélisation des informations et leurs sémantiques qui nécessite des modèles suffisamment riches et pour l'information géographique, des concepts de description des caractéristiques spatiales à la fois sous forme discrète et/ou continue.
2. le raisonnement pour être capable d'inférer/classifier des informations et vérifier cohérence des descriptions.

3. les instances pour gestion des données si l'ontologie en comporte.
4. les requêtes pour interroger l'ontologie aussi bien au niveau des instances qu'au niveau du schéma.

#### 7.3.3.4 L'intégration des trois composantes : Espace, Temps et Multi représentation :

Les ontologies géographiques intègrent la dimension *spatiale* qui est souvent liée à une dimension *temporelle* pour rendre compte d'informations évolutives dans le temps et dans l'espace. Tout comme une entité peut évoluer ans le temps, elle peut aussi être sujette à différentes représentations selon le contexte dans lequel elle est considérée.

L'intégrations dans les ontologies géographiques des trois composantes : espace, temps et multi représentation est un challenge important pour assurer aux ontologies une réelle pertinence.

De nombreux travaux ont été réalisés pour prendre en compte la composante temporelle aussi bien dans le domaine des bases de données que dans les logiques de description. Les approches peuvent différer par les références de temps choisis (instants, intervalles, ...) et par les mécanismes choisis pour introduire le temps (opérateurs temporels, changements d'états, ...). MADS [SPA99] est un modèle spatio-temporel, la caractéristique temporelle est supportée par un type abstrait de données temporel qui permet de définir des attributs estampillés dans le temps pour conserver l'évolution de leurs valeurs. Une hiérarchie de types de données temporels est aussi proposée. Le cycle de vie des objets peut aussi être pris en compte (création, suspension de validité, réactivation, suppression ).

Un concept peut être défini comme **spatio-temporel** pour modéliser son évolution dans le temps et ses déformations.

La composante **représentation multiple** est aussi supportée par MADS qui offre la possibilité d'estampiller tout constructeur du modèle (objets/attributs/rerelations) avec deux informations indiquant un point de vue et une résolution.

La notion de point de vue permet d'identifier les informations pertinentes dans un certain contexte et pas dans d'autres. La notion de résolution permet de connaître le niveau de détails au-dessous duquel l'objet n'est pas pertinent.

### Ü Conclusion :

Les ontologies géographiques ont un avenir prometteur car elles sont tremplin pour le partage automatisé d'informations dans des domaines où les données sont complexes à modéliser et onéreuses. Elles doivent jouer un rôle important de référence pour l'interopérabilité des systèmes. Leur développement est conditionné par des critères de réelle utilisation. Nous avons constaté également que les modèles conceptuels de bases de données spatio-temporelles sont d'excellents candidats pour la modélisation des ontologies géographiques mais qu'ils doivent être enrichis pour permettre la définition intentionnelle de concepts. L'intégration des composantes temporelles et représentation multiples nous semble un challenge important à révéler.

Nous pensons aussi que l'intégration des SMA dans les modèles des ontologies spatio-temporelles nous permettra d'aboutir à des meilleurs résultats, cette dernière idée fera l'objectif du prochain chapitre.

## Ü Introduction :

Le thème des systèmes multi agents (SMA), s'il n'est pas récent, est actuellement un champ de recherche très actif. Cette discipline est à la connexion de plusieurs domaines en particulier de l'intelligence artificielle, des systèmes informatiques distribués et du génie logiciel. C'est une discipline qui s'intéresse aux comportements collectifs produits par les interactions de plusieurs entités autonomes et flexibles appelées agents, que ces interactions tournent autour de la coopération, de la concurrence ou de la coexistence entre ces agents. Ce chapitre introduit, tout d'abord, les notions d'agents et de systèmes multi agents (SMA), et détaille par la suite les différentes questions que soulèvent la problématique des SMA, en particulier: les interactions et la coopération, la coordination, la planification et la communication.

Un agent est ainsi un processus informatique, quelque chose entre un programme informatique et un robot, au sujet duquel on peut parler d'autonomie parce qu'il dispose de possibilité d'adaptation quand son environnement change. Un exemple typique et actuel d'agent est celui des assistants, ces programmes informatiques, qui se déclenchent la nuit, qui alors explorent un réseau de données informatique (Web), qui y choisissent des cheminements possibles par un système de marques, qui importent des informations pertinentes à des moments où le réseau n'est pas saturé, tout ceci de façon à ce que le lendemain l'utilisateur puisse, d'une façon transparente pour lui, naviguer bien plus efficacement dans un domaine d'information personnalisé. C'est parce que le contenu et la structure des bases d'informations changent en permanence et que l'assistant doit s'adapter à cette perpétuelle évolution que l'on peut parler d'autonomie.

Le point clé de la théorie des univers multi-agents réside dans la formalisation de la nécessaire coordination entre agents. La théorie des agents est ainsi, une théorie du contrôle - quelles sont les relations de type hiérarchique entre agents ? Comment sont-ils synchronisés ? - et de la communication - quels types de message s'envoient-ils? à quelle syntaxe obéissent ces messages? - pour lesquels elle propose des formalismes élaborés!

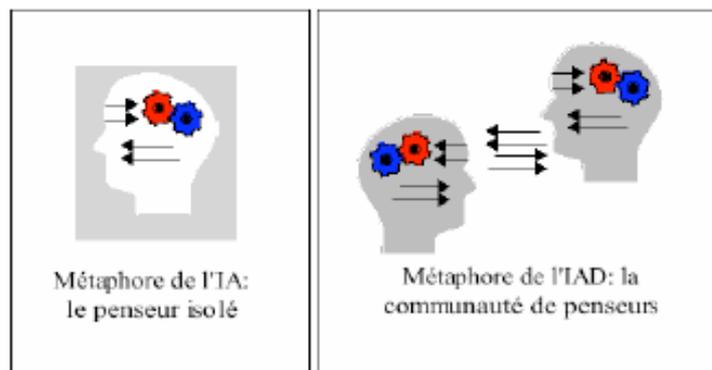
La complexité des systèmes actuels nécessite une modélisation rigoureuse, qui intervient dans une variété de domaines d'application scientifique (médecine, l'art,.....)

Au fil des avancées théoriques et des applications, de multiples définitions du terme d'agent sont apparues. Ainsi pour certain, il englobe des capacités de planification, pour d'autres d'apprentissage ou encore de mobilité, etc.

Afin de fixer le cadre de ce domaine nous prendrons comme définition minimale, les définitions suivantes nous enrichirons par la suite.

### 1 Définition d'un SMA (Système Multi-Agents) :

Un SMA est un système dans lequel des agents artificiels opèrent collectivement et de façon décentralisée pour accomplir une tâche ( figure IV.1).

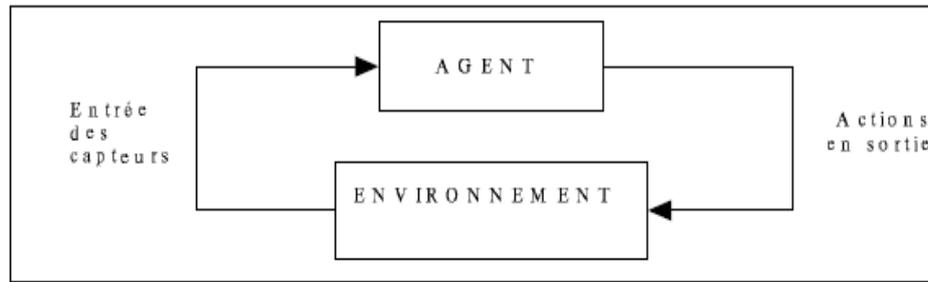


**Figure IV.1 : IA, Comparaison entre le penseur isolé et la communauté de penseurs**

#### 1.1 Définition d'un agent :

Il existe plusieurs définitions, nous citons les plus importantes :

- ∅ Un agent est une entité physique ou virtuelle :
  - mue par un ensemble de tendances ( objectifs individuels, fonction de satisfaction ou de survie à optimiser )
  - possède des ressources propres
  - ne dispose que d'une représentation partielle de son environnement
  - comportement tendant à satisfaire ses objectifs, en tenant compte de ses ressources et de ses compétences, et en fonction de sa perception, ses représentations et ses communications.
  
- ∅ Un agent est un programme informatique autonome, plongé dans un environnement qu'il est capable de percevoir et sur lequel il est capable d'agir (voir figure IV.1).



**Figure IV.1 : Agent et son environnement**

L'environnement est le médium commun aux agents du système. L'agent peut totalement ou partiellement le contrôler au travers de ses actions, à partir d'une perception locale, incomplète, voire incorrecte de celui-ci. Le qualificatif d'autonomie est essentiel pour distinguer un agent d'un objet ou de tout autre programme informatique.

Le comportement d'un agent peut être qualifié ainsi, lorsqu'il peut exercer son propre contrôle sur son activité et sur son état.

Selon [JEN99], un nombre croissant de chercheurs définit un agent, comme étant un système informatique situé dans un environnement, dont il est capable d'agir en parfaite autonomie sur ses actions, dans le but de faire rencontrer les objectifs de sa conception, avec les caractéristiques suivantes :

- ∅ Un agent est une entité située dans un environnement particulier, qui perçoit l'état de l'environnement à travers ses capteurs, et qui agit sur son environnement à travers ses effecteurs.
- ∅ Il est conçu pour accomplir des objectifs spécifiques, et il a des buts particuliers à atteindre.
- ∅ Il est autonome, du moment qu'il a le contrôle de son état interne, et de son propre comportement.
- ∅ Il est capable d'exposer et de produire des solutions pour des problèmes flexibles. Il a besoin d'être à la fois réactif (capable de répondre à des opportunités, à des changements qui surviennent dans l'environnement et proactif, il est capable d'agir en anticipant les futurs buts)

## 1.2 Descriptions d'un agent :

La conception d'un agent, comme toute activité logicielle, peut et doit se dérouler à différents niveaux de conceptualisation détaillant successivement la description en spécification, conception, et implémentation. Orthogonale à ces niveaux d'abstraction, la description peut être *déclarative*, en s'appuyant sur des théories d'agents ou *opérationnelle*, et mettre en avant la description de l'architecture :

1. Au niveau spécification, la description architecturale cherche à mettre en évidence les composants qui constituent l'agent, les fonctions qu'ils mettent en œuvre, leurs interactions avec les autres composants, leur organisation globale. La ou les descriptions spécifient le comportement désiré en précisant les différentes présentations disponibles, les attitudes qui composent l'état de l'agent, si une représentation explicite ou non du temps est présente, etc. A ce niveau les deux types de descriptions ne sont pas satisfaisants, de par leur manque de précision (description architecturale) ou de par leur manque de caractère opérationnel (description logique)
2. Au niveau conception, les descriptions architecturales sont affinées, en précisant le grain des traitements, les modèles de concurrences à utiliser, la répartition des processus, etc. Certains travaux utilisent des langages de **spécification formelle** tel que, par exemple le **langage Z** [INV97], d'autres utilisent les automates cellulaires [FER97], les réseaux de pétri [FER95a] Par ailleurs, afin d'exploiter les spécifications logiques, des mécanismes d'inférences et de preuves sont définis et mis en œuvre.
3. Au niveau le plus bas se trouve la description la plus concrète et la plus opérationnelle d'un agent : l'implémentation de l'agent dans un langage donné. Ce Niveau se prête peu aux comparaisons. Des langages objets ou acteurs, des langages de programmation orientée agents [RAO96] ou des environnements de développement multi-agents pourront être utilisés.

Les agents que l'on trouve souvent dans la littérature, ne possèdent pas toutes ces descriptions. Souvent leurs propriétés ne sont pas clairement formalisées selon une théorie citée ci-dessus, mais simplement exprimées au sein du code, d'où il est difficile de les vérifier. Ainsi un des problèmes de la conception d'agents, est lié à l'absence d'un formalisme unique, permettant de passer de la spécification à l'implémentation, en étant sûr de conserver les propriétés désirées (calculs de preuves.....)

Néanmoins il existe des tentatives réalisées dans ce but, comme par exemple le **langage MetateM** [FIS97], basé sur la logique temporelle, ainsi que le travail réalisé autour des automates [ROS86].

### 1.3 Modèles d'agents existants :

Selon [DEM95] on peut classer les agents selon deux visions :

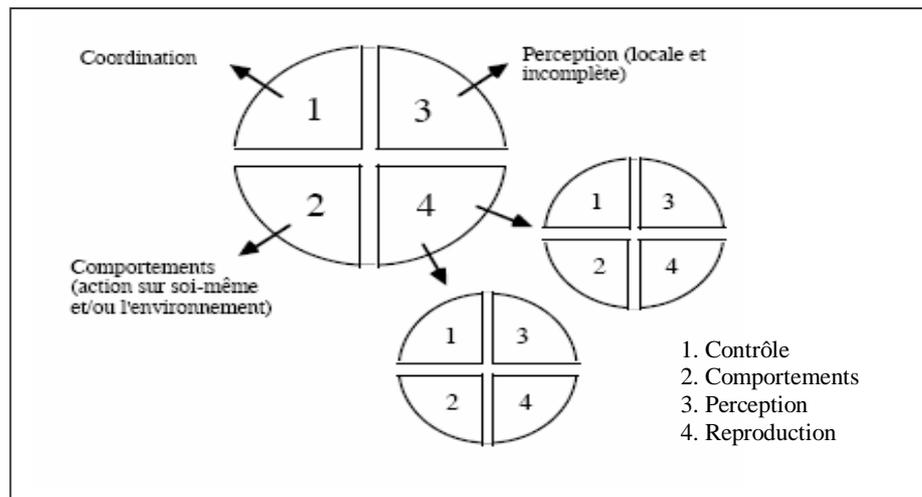
- q Vision coordination : celle ci regroupe les architectures d'agents autonomes, les architectures d'agents interagissant, et les architectures d'agents sociaux. Afin d'affiner notre classification nous avons pris en compte le couplage des agents à l'environnement; dans cette classification on retrouve la manière dont la fonction de prise de décision est réalisée. Nous retrouvons ainsi les classifications habituelles, d'agents réactifs, d'agents délibératifs, ou d'agents hybrides.
- q Vision raisonnement : comme nous l'avons défini en début, un agent peut être considéré comme un système de raisonnement visant à déterminer quelles sont les actions possibles, laquelle privilégier, comment la mettre en œuvre de manière efficace en fonction, de la situation courante de l'environnement ou des autres agents. Trois grands groupes d'architectures permettent de répondre différemment à ses questions.

#### 1.3.1 Agent réactif :

Une architecture d'agent réactif, est une architecture dans laquelle les décisions d'action sont prises au moment de l'exécution, à partir de peu d'informations (informations captées à l'instant présent). L'exécution de ces actions suit toujours le changement intervenant dans l'environnement. Le mécanisme de décision, est souvent très simple, l'accent étant mis sur la robustesse plutôt que sur l'exactitude et l'optimum du comportement (figure IV.2).

- **Remarques :**

- ü Un agent réactif :
  - pas de représentation explicite de l'environnement
  - pas de mémoire de son histoire, ni de but explicite
  - grand nombre d'agents (>100), homogène à grain fin



**Figure IV.2 : Agent réactif**

### 1.3.2 Agent délibératif :

Cette architecture comporte un mécanisme de décision consistant en une délibération explicites sur les différentes possibilités d'action en utilisant, par exemple une génération de plans ou en prenant en compte l'utilité espérée des actions. Le mécanisme de décision pouvant être très complexe, l'accent est mis sur l'optimum et sur l'exactitude du comportement au détriment de la robustesse et du temps d'exécution.

### 1.3.3 Agent cognitif :

Ce type d'agent possède une représentation explicite de son environnement, ainsi il peut tenir compte de son passé, et il est complexe dans sa conception, et quand il existe dans un système il est en petit nombre.

## 2 L'Agent et son état :

Pour utiliser de façon efficace son passé, un agent peut conserver son historique sous forme de structures de données adaptées. Soit  $I$  l'ensemble des états internes de l'agent. On peut alors exprimer le processus de décision de l'agent à partir de  $I$  :

$$\text{agir} : I \rightarrow A$$

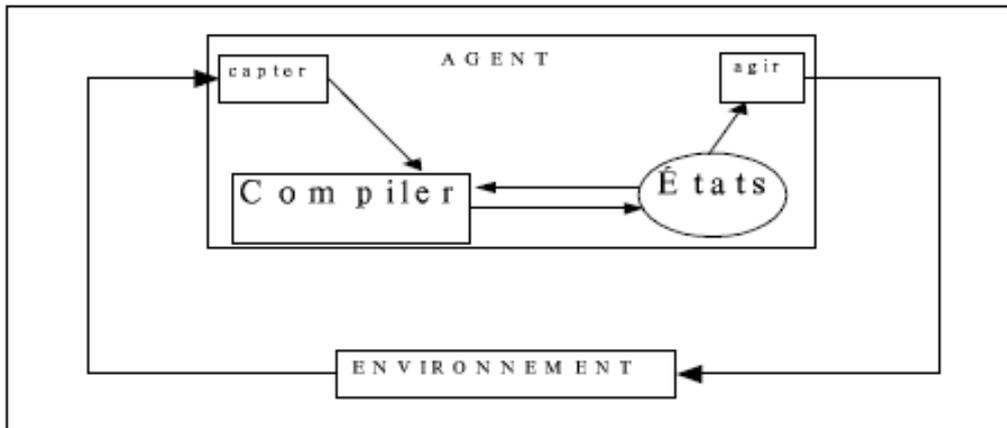
Ce processus de mémorisation nécessite l'accumulation des connaissances par l'agent.

Nous définirons donc la fonction *compiler* de la façon suivante :

*Compiler* :  $I \times P \rightarrow I$

Les agents fonctionnent donc suivant le cycle : *capter* – *compiler* – *agir* .

La figure suivante nous résume le processus de fonctionnement :



**Figure IV.3 : Agents et états internes**

L'agent utilisera dans sa boucle décisionnelle les fonctions :

*Compiler* ( $i0$ , *capter*( $s$ )) pour observer l'environnement, ensuite :

*agir* (*compiler* ( $i0$ , *capter*( $s$ ))) pour déclencher une action.

### 3 L'architecture BDI ( Believe Desire Intension ) :

Cette approche s'intéresse aux différentes étapes du processus de raisonnement qui conduit à choisir une action pour atteindre un but fixé. Il faut d'abord fixer les buts à atteindre (*deliberation*), c'est-à-dire se demander quoi faire, puis regarder comment faire pour les atteindre (*means-end reasoning*). Cette approche doit permettre aux agents qui l'utilisent d'avoir des comportements stables et cohérents même si l'environnement dans lequel ils évoluent est instable.

Le concept d'intention est au centre de cette approche car il permet de relier les buts aux croyances et aux engagements en disposant d'une théorie du passage à l'acte des agents.

Le principe de raisonnement des agents BDI est donc de raffiner progressivement les options en intentions de plus en plus concrètes (planification), qui au final correspondront à des actions exécutables. L'agent planifie ses actions pour satisfaire ses intentions (voir figure IV.4) :

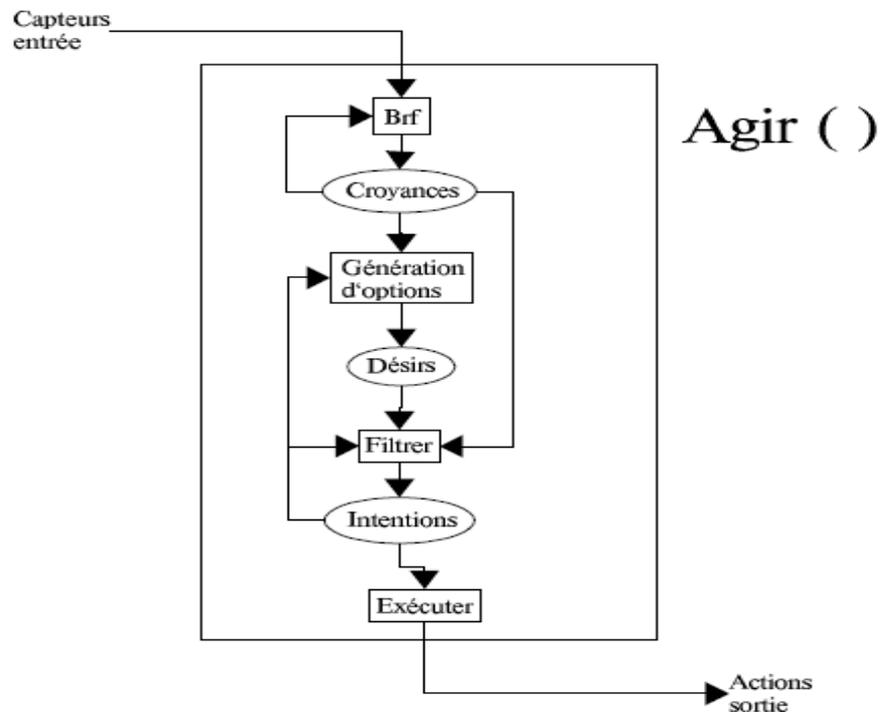
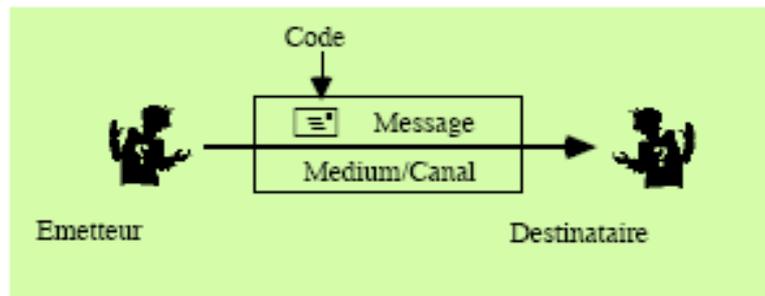


Figure IV.4 : Description de l'architecture B.D.I

#### 4 La communication entre agents :

La communication est un mécanisme qui rend toutes les entités inter-dépendantes, les unes des autres (figure IV.5). Afin d'édifier et de réaliser notre monde, les entités ont besoin de communiquer, et de se coordonner, pour édifier et présenter la dynamique du système cible, sans ça ils seront considérés comme des entités inhérentes, qui ont des objectifs certes, mais elles ne savent pas, quand ses objectifs peuvent les atteindre, comment, et qui peut les aider ? ainsi que où ?[FER95]



**Figure IV.5 : Communication entre agents**

De ce fait l'ensemble des agents dans un système communique pour les raisons suivantes:

- ∅ Se coordonner, un ensemble peut réaliser plus de choses qu'un seul agent
- ∅ Plus riche et plus efficace que d'observer, des changements dans l'environnement
- ∅ Diversité et hétérogénéité des agents, coût de prédiction du comportement des autres agents
- ∅ Autonomie, intérêts propres des agents et l'évolution du monde rendent les comportements imprévisibles et conduisent à des solutions inacceptables.

Les agents communicants doivent comprendre un *langage commun*.

#### 4.1 Définition d'une interaction :

Une interaction est une mise en relation dynamique de deux ou plusieurs agents par le biais d'un ensemble d'actions réciproques. Il y'a une interaction lorsque la dynamique propre d'un agent est perturbée par les influences des autres.

Une interaction est *le moteur* d'un système multi-agents, et selon les agents et les systèmes l'interaction prend diverses formes :

- ∅ Actions sur le monde
- ∅ Communication
- ∅ Inférences.....

## 4.2 Le but de l'interaction :

L'interaction est le mécanisme qui rend l'ensemble d'agents existants dans le système plus dynamique, de par le fait qu'elle met en évidence les mécanismes de communication et de coopérations. Par le moyen de l'interaction l'ensemble des entités plongées dans un environnement, peut interagir par différentes formes et de s'échanger des informations pour former le système, ainsi elle est le moyen pour cet ensemble d'exister en inter-dépendance, et de se fournir mutuellement des flots d'informations. Aussi si l'ensemble des agents d'un système interagisse ils peuvent réaliser plus que la somme de leurs actions, mais c'est aussi de leur multitudes dans le système qu'ils doivent coordonner leurs actions et résoudre les conflits, pour un agent l'autre est à la fois le pire et la meilleure des choses.

## 4.3 Différentes formes d'interactions :

### 4.3.1 Interaction sans communication :

Elle se base sur l'inférence des actions des autres

#### Exemple :

1. Utilisation de la théorie des jeux avec matrices de gain [ROS85]

		A	
		coopération	dénonciation
B	coopération	3 / 3	5 / 0
	dénonciation	0 / 5	1 / 1

2. Actualisation d'une contrainte ou actualisation d'une dépendance

### 4.3.2 Interaction « primitives » par communication :

C'est un ensemble fini de signaux avec pas d'interprétation et de syntaxe fixée,

- i. Exemple : planification multi-agents [GEO83]

- ii. Exemple : communication par l'environnement via les traces (signaux) que laissent les agents et qui peut être perçues par d'autres agents.

L'inconvénient est que les coordinations complexes sont difficiles à mettre en œuvre.

#### **4.3.3 Interaction par envois de « messages », de plans :**

§ L'interaction se fait par des envois de messages, tel que des appels de méthodes des langages à objets, ex: Les langages acteurs [HEW77] un acteur exécute une séquence d'actions, en réponse aux messages reçus

§ Dans l'envoi de plans, des échanges de plans partiels se font [DUR87] de façon qu'un nœud du DVMT échange des plans partiels d'interprétation avec les autres nœuds du système.

#### **4.3.4 Interaction par un tableau noir « Blackboard » :**

L'interaction par un tableau noir est une technique qui a prouvé son efficacité dans la conception des systèmes informatiques, et ce type de technique utilisé pour que les différents agents existants dans un système donné peuvent se communiquer à travers un espace mémoire commun (partagée) appelée en anglais « Blackboard », dont le mécanisme et de déposer l'information ou la connaissance dans cette zone, l'agent concerné viendra récupérer cette information. On introduit cette technique de communication, lorsque l'ensemble des agents se trouve dans une architecture centralisée ou distribuée. [LAB99] propose un langage commun pour le partage d'information KSE. Les principales caractéristiques de ce type d'interaction (Tableau noir) sont les suivantes :

- ü Pas de communication directe
- ü Interaction via le partage d'un même espace de travail ou de système

La figure IV.6 illustre ce mécanisme. Un système contenant un ensemble d'agents basé sur ce type d'interaction, possède les éléments suivants :

- Les connaissances
- Le tableau noir
- Le mécanisme de contrôle

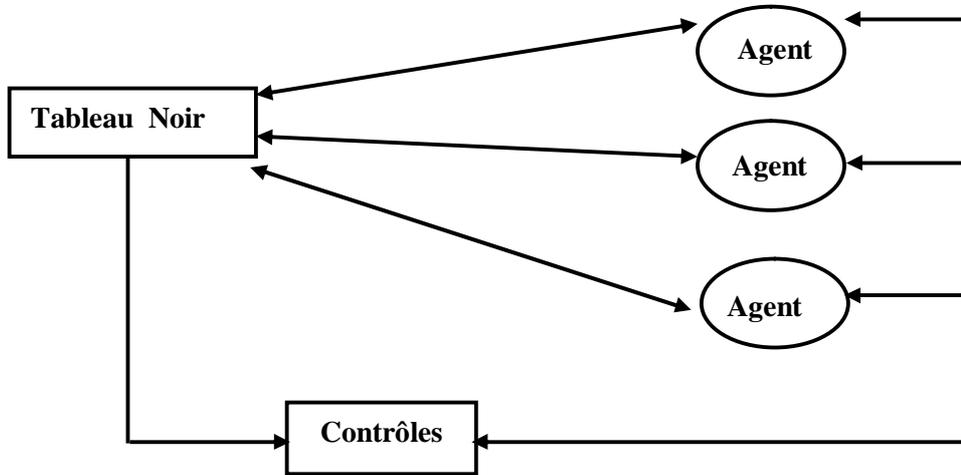


Figure IV.6 : Interaction d'agents par le tableau noir

**5 Différents domaines d'application en matière d'utilisation du modèle d'agents et d'interaction :**

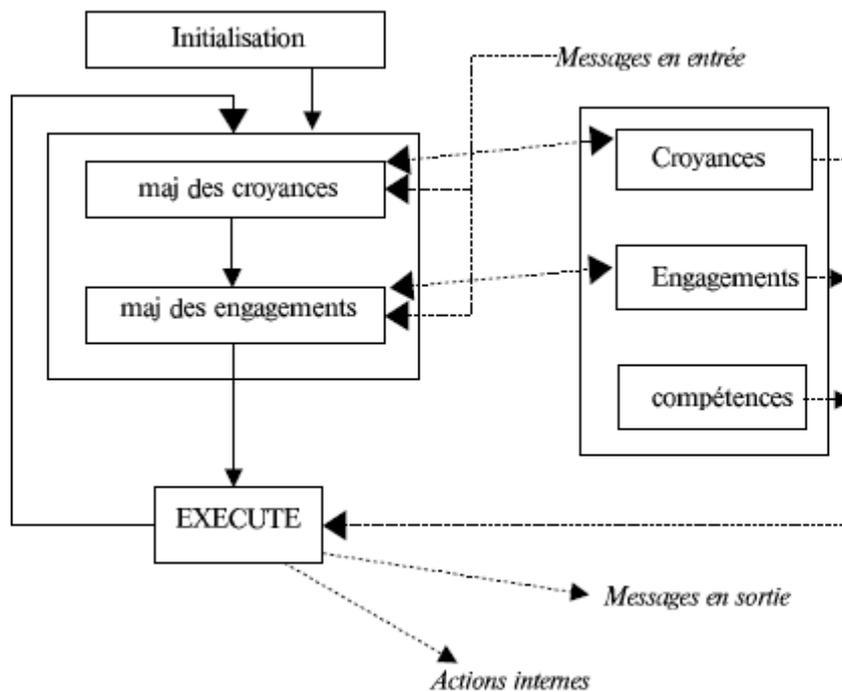


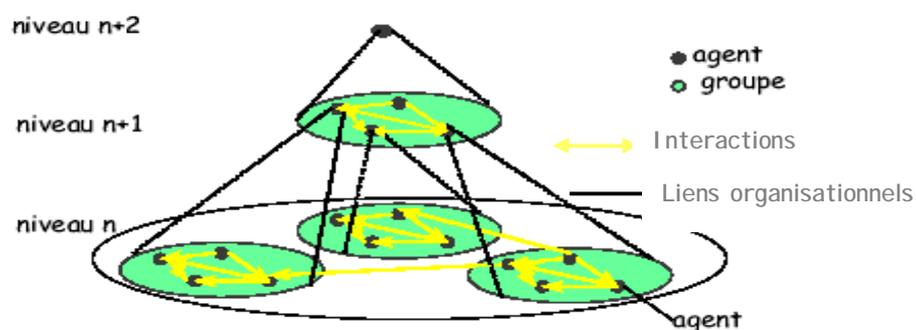
Figure IV.7 : Contrôle des informations dans un agent

### 5.1 Le génie logiciel basé sur l'approche agent et interaction entre agents :

L'adoption de l'approche orientée agent, va bientôt devenir indispensable pour impliquer des agents multiples dans la conception des systèmes et réduire la complexité de ses derniers. Afin de décentraliser les problèmes nous devons comprendre comment l'ensemble d'agents a besoin d'interagir, pour atteindre leurs objectifs individuels ou pour gérer les dépendances qui résultent de leurs situations dans l'environnement commun.

Ces interactions peuvent varier d'une simple information inter-échangée, pour répondre à des actions particulières du monde, à une coopération, coordination et négociation dans le but d'organiser des activités inter-dépendantes. Dans ces deux cas deux points peuvent surgir, qui différencient qualitativement les interactions d'agents, des autres modèles de calculs:

- ▼ Les interactions basées agent sont conceptualisées pour prendre place dans le niveau connaissance
  - Quel sont les buts qui vont être suivis, en ce moment, et pour qui (invocation de méthode d'appel de fonction, agissant sur le niveau syntaxique)
- ▼ Comme les agents sont des entités résolvantes de problèmes complexes, opérant dans un environnement sur lequel, ils ont un contrôle total et une observabilité partielle, leur interaction ont besoins doivent être flexibles, Dans ce cas ils ont besoin de mécanismes pour construire des décisions et des réponses à des questions instantanées, et qui sont réalisées selon la nature et la portée de leurs interactions. Dans la plupart des cas les agents agissent pour atteindre leurs objectifs, [JEN99]



**Figure IV.8 : Un système à agents à partir d'une vue organisationnelle**

## 5.2 Cas d'une approche à base d'agents pour le génie logiciel :

Probablement le plus contraignant de l'adoption d'une approche basée agent dans le développement du génie logiciel, c'est d'avoir un ensemble de données quantitatives, mais qui accroît cette approche en terme de productivité logiciel sûr, fiable, et de systèmes faciles à maintenir. Dès lors les arguments de l'approche basée agent pour le génie logiciel doivent être qualitatifs par nature. Afin d'attaquer et de traiter les problèmes des mondes ou des systèmes complexes, on doit disposer de techniques pour atteindre ce but. [BOO94] identifie trois techniques :

**Décomposition :** C'est la technique la plus basique pour diviser les gros problèmes en plus petits (sous problèmes) qui sont moins difficile à résoudre, ensuite nous devons traiter chacun avec une isolation relative. Ces démarches dans le traitement de la complexité réduisent considérablement la portée de l'intervention du concepteur, et dans n'importe quel moment donné une seule portion de problème a besoin d'être considéré.

**Abstraction :** C'est un processus de définition du modèle du système, et qui met l'accent sur quelques détails des propriétés, en négligeant d'autres. Cette technique fonctionne efficacement, car elle limite l'intérêt de la portée du concepteur dans un moment donné, et l'attention peut être focalisé sur les aspects frappants du problème au dépend des détails moins pertinents, et permet de dégager les concepts essentiels pour le modèle choisit.

**Organisation :** C'est le processus d'identification et de gestion des relations entre les différents composants (agents) formant le système. La capacité de spécifier, de décréter, ainsi que de présenter les liens organisationnels, aide les concepteurs à attaquer la complexité dans deux chemins.

- En activant un nombre de composant basique, pour être groupé ensemble, et les traiter comme des unités d'analyse de haut niveau
- En fournissant des moyens pour la description de lien ou relation de haut niveau entre différentes unités, ex : un nombre de composants doivent travailler ensemble (coopérer) pour fournir une fonctionnalité de haut niveau.

Il est possible de distinguer les interactions entre les sous systèmes et les interactions à l'intérieur des sous systèmes. Ces derniers sont imprévisibles.

### 5.3 Avantages du génie logiciel basé sur l'approche agent :

Il existe des avantages qui découlent du génie logiciel basé sur l'approche agent :

ü Ils montrent que la décomposition orientée agent est un chemin efficace pour diviser l'espace problème du système complexe.

ü Ils montrent que la clé d'abstraction dans la conception orientée agent, est un moyen naturel pour la modélisation des systèmes complexes

ü Ils montrent que l'approche orientée agent avec les apports qu'elle dégage, sont appropriés aux systèmes complexes, du fait que les agents prennent des décisions concernant la nature et la portée de leurs interactions en temps voulu, rend le génie logiciel et l'ingénierie des systèmes complexes plus facile pour deux raisons :

1. La complexité inhérente du système signifie qu'il est impossible a priori de savoir ou connaître tous les liens potentiels. *Les interactions* se produisent dans un *temps imprévisible* pour des *raisons imprévisibles*, entre des *composants imprévisibles*, pour ces raisons il est vain d'essayer de prédire ou d'analyser toutes les possibilités dans la période de conception. Plutôt il est réaliste de se doter d'agents capables de prendre des décisions concernant la portée et la nature de leurs interactions en temps voulu.
2. Le problème de gérer des relations entre *composants logiciels*, est significativement réduit. Tous les agents sont continuellement actifs, et leur coordination est entreprise par des interactions.

Le succès des systèmes orientés agents en terme de robustesse et d'efficacité peut être attribué à ce qui suit :

- ∅ La bonne représentation des composants et des machines par les agents donne beaucoup plus d'avantages pour les localiser, par conséquent si un événement imprévisible se produit, les agents ont l'autonomie et la pro-activité d'essayer des alternatives.

- ∅ L'ordonnancement des interactions est dynamique, et flexible, exemple : si un des composants est supprimé, tous les composants qui y sont reliés vont se réarranger.

Explicitement l'approche définit des liens entre les parties constituantes du système d'où nous pouvons identifier les agents qui ont besoin de coordonner leurs actions.

#### **5.4 Vers une tendance de génie logiciel basé agent :**

On voit actuellement le monde comme un ensemble d'agents autonomes qui collaborent, pour accomplir un haut niveau de fonction, en plus la localisation de chaque agent dans les modèles de programmation lui donne son propre processus de contrôle, en encapsulant la sélection de ses actions.

Il existe une variété d'applications qui sont édifiées sur cette approche, dont on peut citer, le contrôle de transport, contrôle de processus industriel, simulation, l'interprétation des données scientifiques... etc.

Notre travail sur le projet courant se situe dans le cadre de réflexion sur la modélisation et les approches d'ontologies spatiales à base des systèmes multi agents, pour la mise en œuvre des systèmes de prévention des risques naturels.

#### **Ü Conclusion :**

Nous avons vu, tout au long de ce chapitre que la technologie agent et multi-agents n'est pas un concept voué à rester sur les tablettes des laboratoires de recherche puisque plusieurs exemples d'applications existent déjà. Une des forces importantes derrière la croissance rapide que connaissent aujourd'hui les systèmes multi-agents est l'Internet, où la population d'agents est sans cesse croissante. Ces agents devront savoir collaborer afin d'atteindre les objectifs de leurs concepteurs. Dans ce type d'environnement, les agents rencontrent deux défis majeurs:

- Ü ils doivent être en mesure de se rencontrer et inter-opérer,
- Ü l'allocation de ressources limitées à un bon nombre d'agents.

Enfin, il convient de préciser que les chercheurs travaillant sur les SMA d'un point de vue formel se sont presque toujours heurtés à des agents omniscients, c'est à dire des agents ayant des capacités de raisonnement illimitées. Là aussi le problème est très ouvert et il y a présentement pas mal d'équipes qui y travaillent.

Comme on peut encore le constater le domaine des systèmes multi-agents demeure encore aujourd'hui un domaine rempli de défis à surmonter, autrement dit un domaine très ouvert pour la recherche.

## Ü Introduction :

Pour la prospection des ressources naturelles, les méthodes géophysiques ont été bouleversées par le traitement numérique des données (acquisition et analyse) et par la modélisation (interprétation).

La télédétection spatiale, permettant de recueillir une grande quantité de données en très peu de temps, révolutionner les méthodes mises en œuvre pour l'étude de l'environnement, la perception, la surveillance et la gestion des ressources. Les SIG permettent de faciliter le stockage, la gestion et l'exploitation de ces données.

Le traitement des grands problèmes de l'environnement exige de tenir compte de l'évolution récente des techniques et des technologies en matière de capacité, de rapidité de calculs, de traitement et de transmission de données et d'informations.

Si l'exploitation des systèmes existants peut être effectuée, ces systèmes ne sont pas équipés pour répondre à des besoins spécifiques dans le domaine de la prévision, de la prévention et de la réduction des risques.

### 1 Télédétection, Surveillance de l'Environnement :

La télédétection spatiale s'applique à :

- ² La prospection des ressources naturelles,
- ² La surveillance et la protection de l'environnement naturel et humain et la détection des aléas (pollution, déforestation ...).

La réduction des risques nécessite de nouveaux satellites et de nouveaux programmes.

La surveillance des zones sensibles permet de détecter une approche dangereuse et de localiser sa progression.

Elle se base sur des observations aussi **permanentes** et **précises** que possible et des modèles analogiques pour *la géophysique interne* (risques géologiques) et numériques pour *la géophysique externe* (météo ...). Ces modèles permettent d'interpréter ces observations.

Les observations sont soit :

- « in situ » demandant des réseaux homogènes et à transmission en temps réel vers des centraux de collecte et d'analyse de données,
- « extra situ » qui se développent avec le couple satellite-radar donnant des images 3D des événements de surface.

La surveillance utilise également :

- Les réseaux de base de données et de systèmes d'information et leur connexion aux réseaux internationaux.
- Les télécommunications qui sont en passe de devenir globales avec des projets en bouquets de satellites.
- Les SIG qui jouent un rôle capital dans le transfert des connaissances (voir figure V-1 ) et des méthodologies et dans l'aide à la prise de décision. Leur utilisation dans le domaine de la prévention est capitale, en tant qu'outil de synthèse qui permet d'accéder à la technologie d'analyse géographique.

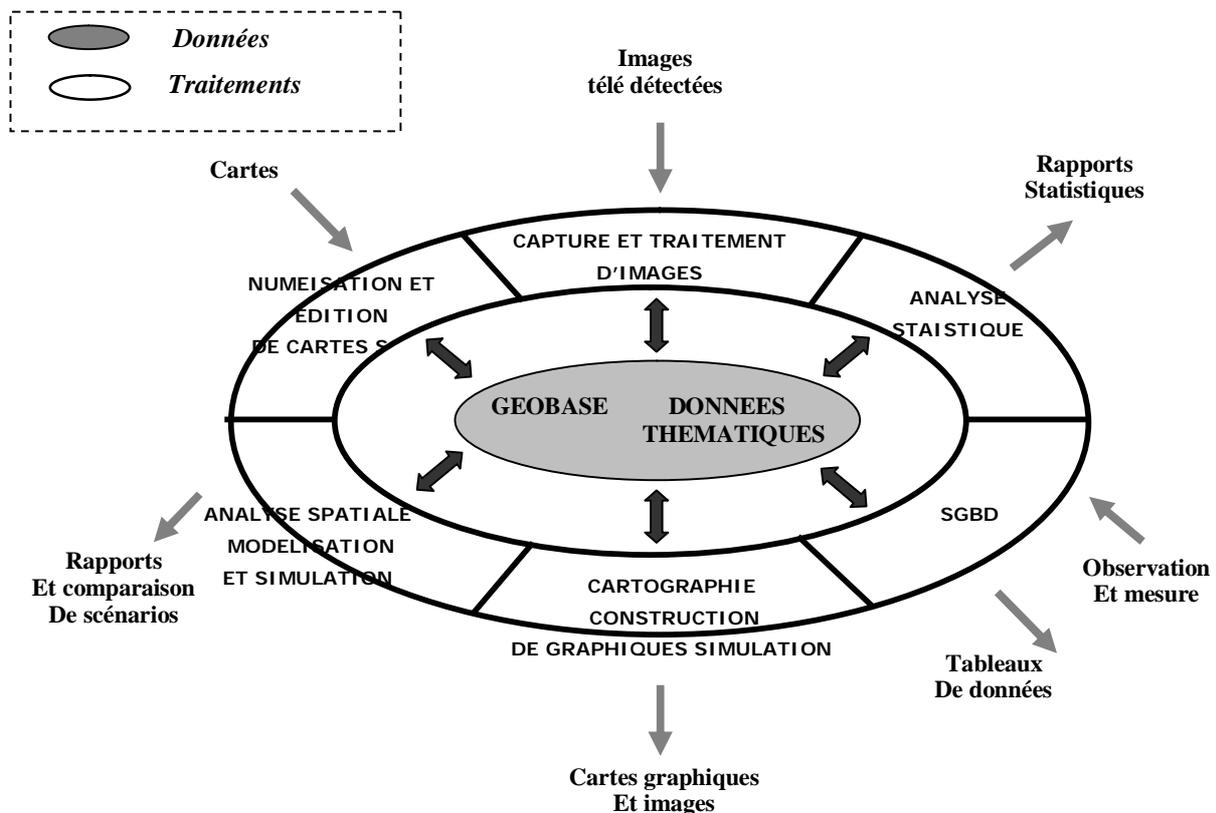


Figure V-1 : Les composants d'un SIG

## 2 Méthodologies adoptées pour la prévention des risques :

Deux méthodes sont utilisées :

ü *Une méthode déterministe* : tournée vers le passé au cours d'une période donnée par l'exploitation d'un faisceau d'informations recueillies au cours d'une période antérieure longue,

ü *Une méthode probabiliste* : tournée vers le futur utilisant de nouvelles technologies de l'information, notamment les ontologies spatiales et les systèmes multi agents, pour simuler les phénomènes en jeu, anticiper leur évolution sur la biosphère et la géosphère. C'est cette deuxième approche sur laquelle nous nous baserons durant notre étude.

## 3 Nécessité de l'interopérabilité :

Le développement rapide des systèmes distribués et l'émergence des réseaux à grande échelle rendent accessible un nombre sans cesse croissant de sources d'informations hétérogènes. Parmi les données proposées, les données à caractère spatial sont de plus en plus présentes, parce que les méthodes d'acquisition (GPS, images satellite, photo aériennes) sont désormais accessibles à tous. Les ontologies spatiales doivent jouer un rôle important et de référence pour l'interopérabilité des systèmes.

Du fait de la masse d'informations présente, de leur hétérogénéité et de leur volatilité, la recherche et la consultation des données est un exercice coûteux en temps et en ressources. L'utilisateur a donc besoin d'outils pour rechercher, accéder, interroger, combiner les sources d'information relatives à ses activités.

*L'interopérabilité des systèmes est une solution* : elle propose un ensemble de processus afin de permettre à différents systèmes de partager des informations et des services.

En conséquence, l'interopérabilité permet à un utilisateur d'exploiter, de manière transparente, les ressources de différents SIG, physiquement répartis et hétérogènes par leur contenu, leurs fonctionnalités et leur plate-forme.

**Exemple :**

Dans le cadre d'une étude de pollution par les nitrates, l'utilisateur est amené à interagir avec des sources de données réparties : 1) un SIG qui recense les exploitations agricoles, leur type de culture, leur taille, 2) une base de données qui rassemble les mesures des taux de nitrate sur plusieurs années, sur les différentes parcelles, 3) un modèle de simulation des écoulements d'eaux, 4) une base de données issue des stations pluviométriques. La contrainte principale étant que chaque système reste maître ses propres données (critère d'autonomie).

**3.1 Les objectifs de l'interopérabilité :**

L'interopérabilité des SIG est motivée par les objectifs suivants :

- *réduire les coûts d'acquisition des données.* Une des caractéristiques principales d'un projet SIG est le coût très important de l'acquisition et de la maintenance de la collection de données spatiales (60% du coût de développement de l'application). Il est donc nécessaire de vouloir partager des données entre plusieurs applications et de réutiliser des données existantes ;
- *améliorer les processus d'aide à la décision.* En effet, il est rare qu'un seul SIG possède toutes les données nécessaires à une prise de décision. Les données peuvent être manquantes ou incomplètes et il est alors nécessaire d'avoir recours à d'autres sources d'information. Cet aspect est accentué par les nouvelles applications spatiales telles que le géomarketing, la gestion des ressources naturelles ou le suivi de pollution ;

- *ajouter des fonctionnalités à un système existant.* Les SIG sont conçus pour des applications spécifiques et n'offrent pas forcément toutes les opérations spatiales. En effet, au sein d'une organisation, les données spatiales sont exploitées par différents utilisateurs dont les activités sont diverses. Ces utilisateurs ont recours à des opérations propres à leur domaine qui n'ont pas forcément été prises en compte lors de la conception initiale du système ;
- *migrer vers de nouveaux systèmes tout en préservant l'existant, c'est-à-dire pouvoir utiliser un ancien SIG au sein d'une nouvelle architecture, autrement dit, avoir des SIG évolutifs dans le temps, en fonction des besoins rencontrés.*

### **3.2 Comparaison entre l'interopérabilité dans les SIG et l'interopérabilité dans les SI :**

L'interopérabilité des SIG diffère de l'interopérabilité des SI classiques par les caractéristiques suivantes :

- 1) les données sont riches, les types variés (données thématiques, géométriques, images), les valeurs sont très sensibles au contexte d'acquisition (unités, référentiels, systèmes de projection, précision, qualité, etc.),
- 2) les modèles spatiaux sont nombreux et complexes (modèle géométrique, réseau, topologique, tessellation),
- 3) les SIG s'intéressent de manière symétriques à la restitution des données et à l'application d'opérations spatiales sur les données (simulation, généralisation cartographique, etc.) de ce fait l'interopérabilité doit prendre en compte aussi bien les données que les opérations, c'est à dire qu'une requête peut exécuter une opération spatiale sur un site A avec des données provenant d'un site B,
- 4) comme les applications géomatiques sont variées et très spécifiques (cartographie, simulation, etc.) ; les utilisateurs de SIG ont besoin de représentations multiples d'objets spatiaux à des granularités différentes.

Les deux premiers points existent de manière moins prononcée dans l'interopérabilité des SI classiques.

Ils ont donné lieu à des classifications des hétérogénéités et des conflits qu'elles engendrent [SPA91, BAT86]. Dans les SIG, on voit apparaître de nouveaux problèmes d'hétérogénéités liés à la géométrie [LAU96, WOR91] : jonction aux frontières, différence de qualité et de précision, changement de référentiels, d'échelles, d'ellipsoïde, de système de projection. D'autre part, le caractère spatial des objets accentue des conflits moins étudiés dans les bases de données [SPA96] tels que les conflits de classification ou les conflits de fragmentation.

Les recherches récentes ont permis d'identifier deux aspects de l'interopérabilité des SIG. Il s'agit des perspectives d'architecture de système et de modélisation [BIS97, BIS98]. Côté architectures, les systèmes distribués (client serveur, objets distribués) sont des solutions éprouvées. Côté modèles, le problème est découpé en trois niveaux d'interopérabilité :

- 1) interopérabilité syntaxique : elle s'attache à unifier les structures des données,
- 2) interopérabilité schématique : elle a pour but de résoudre les différences au niveau des schémas et des modèles,
- 3) interopérabilité sémantique : elle a pour objet de s'assurer que les échanges ont un sens, c'est à dire que le demandeur et le fournisseur ont une compréhension commune de la signification des éléments qu'ils partagent [HEI95].

Du point de vue opérationnel, les approches existantes :

- fournissent des services de bas niveau pour l'échange de données ou le partage d'opérations [CLE97, VCK96],
- s'intéressent à définir un modèle commun pour faciliter les traductions [OGI96a, OGI96b],
- introduisent une composante sémantique pour faciliter le processus d'intégration mais ne valident pas le critère d'extensibilité.

Cette dernière technique n'est utilisable que pour des systèmes ne contenant que quelques sources de données [DRE96].

#### **4 Approche d'agent avec état :**

Comme notre travail est la réflexion à des approches pour la mise en œuvre des systèmes de prévention des risques naturels, et comme notre choix a été porté sur :

**F** Une méthode probabiliste (tournée vers le futur), donc nous avons affaire à une surveillance précise et permanente de l'environnement.

Nous avons pensé dans un premier temps à l'approche présentée par la figure V-2 :

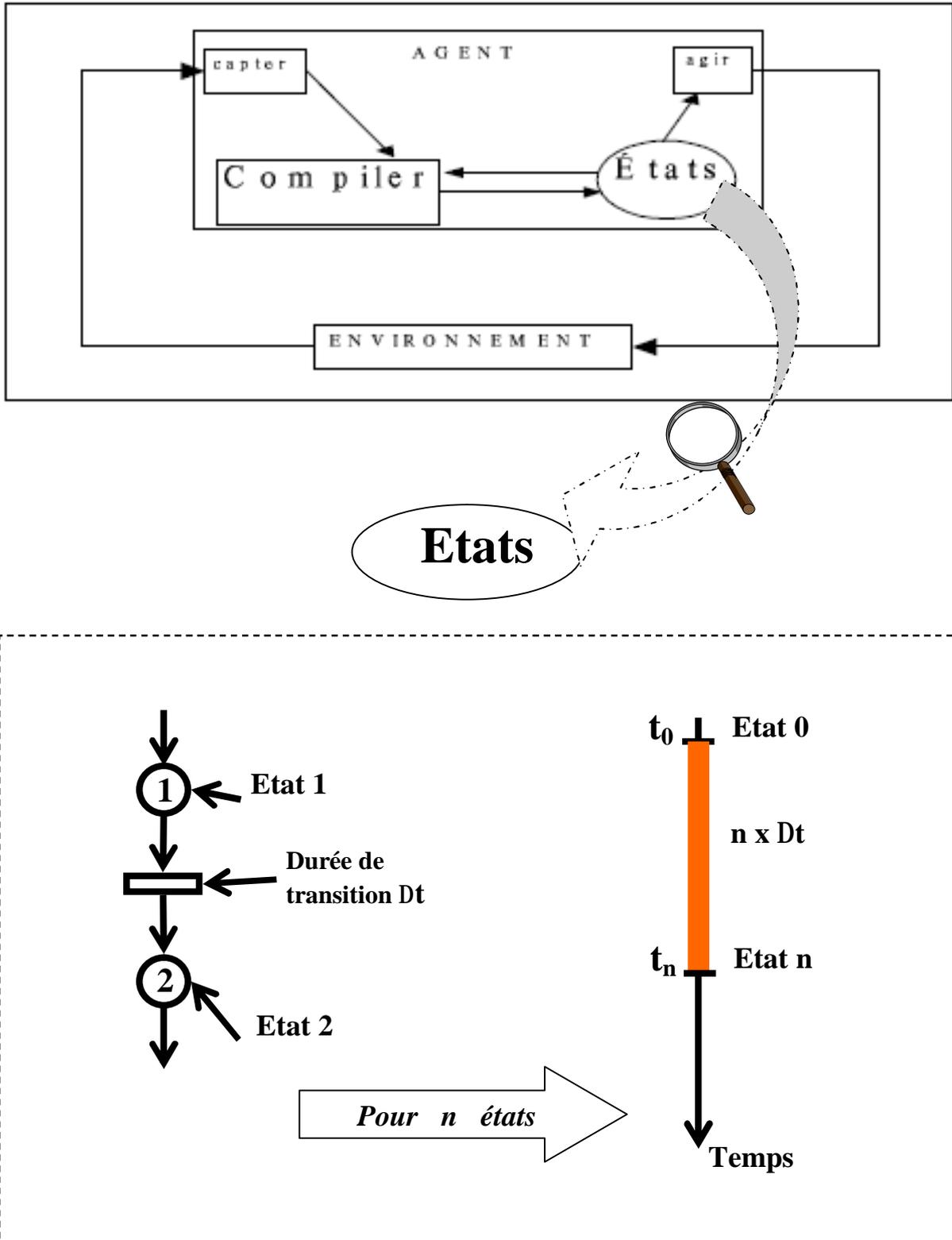


Figure V-2 : présentation de l'approche d'agent avec état

Le principe de cette approche qu'on charge un agent de surveiller une zone bien déterminée à chaque instant  $\Delta t$  et de comparer son premier état 1 (qu'il en dispose déjà) avec son nouvel état 2.

L'agent fonctionne suivant le cycle : *capter – compiler – agir* .

L'agent utilisera dans sa boucle décisionnelle les fonctions :

*Compiler état 1 , capter(état 2))* pour observer l'environnement, ensuite :

*agir (compiler (état 1 , capter (état 2)))* pour déclencher une action.

- **Inconvénients :**

- A chaque instant  $t$  ou  $t+\Delta t$ , l'agent se retrouve dans un état donné. Donc : l'agent est toujours activé.
- Le SIG utilisant cette approche est sensé de garder après chaque instant  $\Delta t$  le nouvel état de l'agent ( garder tout son historique ) pour le comparer au prochain, ce qui demande un espace mémoire important.

## 5 Description de l'approche adoptée :

L'approche que nous avons adoptée est inspirée de l'architecture d'Interopérabilité des Systèmes d'Informations Spatiales, qui propose une solution d'interopérabilité construite sur une médiation sémantique caractérisée par :

- 1) une approche déclarative sans schéma d'intégration, c'est-à-dire que les fournisseurs d'information déclarent seulement les données qu'ils mettent à disposition, de même, les consommateurs déterminent leurs besoins sans aller chercher l'information dans chaque site,
- 2) une interconnexion dynamique des fournisseurs et des consommateurs, c'est-à-dire que les liens sont établis au moment de l'exécution de la requête et ne sont pas préalablement fixés, ils sont changeables.
- 3) une résolution dynamique des conflits sémantiques à l'exécution de la requête.

La réalisation de ces caractéristiques est rendue possible grâce notamment aux éléments suivants :

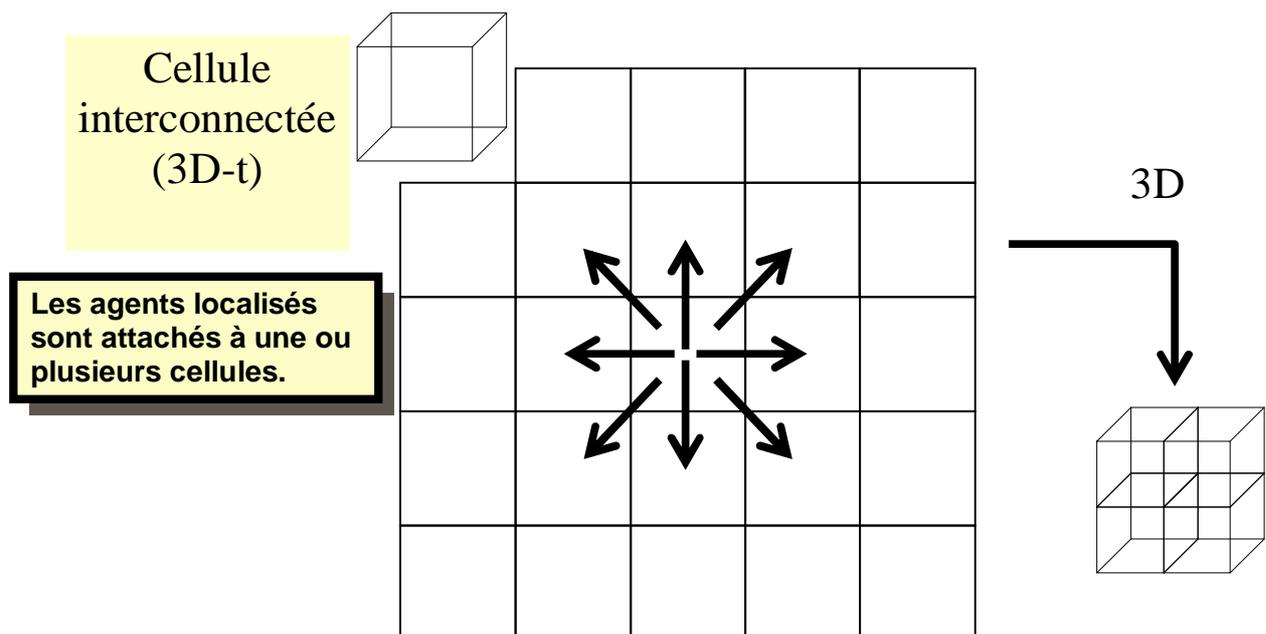
- **une ontologie commune** : qui décrit un vocabulaire commun pour un domaine d'application et intègre une ontologie spatiale. Pour notre cas, nous avons affaire à une ontologie spatio-temporelle.
- **un ensemble d'agrèments de concepts** : un site peut accepter tout ou une partie des concepts de l'ontologie. L'acceptation est exprimée sous forme de prédicats d'agrèments de concepts. En acceptant un concept C, un site s'engage à fournir les données ayant la sémantique de C.
- **des sources de données** : qui sont hétérogènes et qui sont conçues indépendamment du contenu de l'ontologie. Une source intègre la coopération en déclarant les objets et les services qu'elle désire partager.
- **la résolution des hétérogénéités de modèles** : ce capital élément est réalisé à travers l'utilisation d'un modèle commun (à base d'agents) : toutes les sources de données seront transformées dans le modèle commun.
- **La résolution des hétérogénéités sémantiques** : (de structure et de valeurs) est réalisée à l'aide d'intermédiaires, appelés : objets de médiation. Un objet de médiation permet d'explicitier la sémantique des données locales d'un SIG.

La conception d'une architecture d'interopérabilité de SIG est notre principale motivation, cette architecture devrait être capable de résoudre dans un formalisme unique à la fois, les conflits sémantiques liés aux domaines de valeurs et les conflits sémantiques liés à la structuration des objets du monde réel. La prochaine section présentera le concept de vue (objet de médiation), entant qu'élément indispensable de cette approche.

### 5.1 Concept de vue :

Les approches de médiation de contexte sont basées sur la notion de contexte [MCC87]. Ce dernier est utilisé pour capturer et représenter une partie de la sémantique des objets.

Un contexte est considéré comme une vue sur un objet de l'ontologie. Cette vue permet de réduire les propriétés, les relations ou l'extension de l'objet. D'autre part elle associe, un contexte à un objet virtuel défini à partir d'une combinaison (sélection, projection et agrégation) d'objets locaux. Cette approche permet d'adapter la granularité des objets fournis par les sources à celle des objets manipulés par les applications et donc de définir différentes facettes pour un même objet. Ce qui nous permettra d'éviter le problème de conflit d'accès aux données par différents utilisateurs de SIG au même temps. Nous pouvons imaginer l'objet comme une zone (cellule) en 3 dimensions enrichie par la composante temporelle  $t$ , qu'on dénote : *Cellule 3D-t*. ( voir figure V-3).



**Figure V-3 : Représentation des objets de médiation**

Un objet de médiation est l'association d'un contexte à un objet virtuel et l'ensemble des transformations de valeurs (appelées aussi transformations de contextes) permettant de convertir une valeur d'un contexte à un autre.

Un objet de médiation OM est défini par le triplet  $\langle C, OV, T \rangle$  où  $C$  est un contexte local défini en termes de l'ontologie,  $OV$  un objet virtuel local et  $T$  un ensemble de fonctions de transformation  $t$  et  $t^{-1}$  permettant de convertir une valeur respectivement de  $C$  vers  $OV$  et de  $OV$  vers  $C$ .

- **Exemple :**

Supposons que l'ontologie commune contient la définition suivante du concept de Personne :

```

Class Personne ( Nom : type : String,
                                sexe : type : String
                                domval : {Homme, Femme, Inconnu}
                                date_naissa : Date,
                                adresse : string )

```

L'accès au nom et/ou sexe et/ou âge d'un propriétaire dans la base BD-JOURNAL nécessite un objet de médiation  $OM_1 = \langle C_1, OV_1, T_1 \rangle$  défini de la façon suivante :

$C_1 = \mathbf{select}$  nom, sexe, date\_naissa **from** Personne

$OV_1 = \mathbf{select}$  NOM-PROP, SEXE-PROP, AGE-PROP **from** PETITE-ANNONCE

$T_1 = \{ t_{nom \rightarrow NOM-PROP} (nom) = Id(nom)$

$t_{sexe \rightarrow SEXE-PROP} (Homme) = M, t_{sexe \rightarrow SEXE-PROP} (Femme) = F$

$t_{sexe \rightarrow SEXE-PROP} (M) = Homme, t_{sexe \rightarrow SEXE-PROP} (F) = Femme$

$t_{date\_naissance \rightarrow AGE-PROP} (date\_naissance) = date()\_date\_naissance$

$t_{date\_naissance \rightarrow AGE-PROP} (age) = an ( ) - age \}$

∅ **Remarque :**

Les fonctions  $t$  ou leurs inverses  $t^{-1}$  ne sont pas toujours définissables. Il n'est pas possible, par exemple, de calculer la date de naissance d'une personne à partir de son âge, ou de calculer les coordonnées géométriques d'un objet spatial à partir de sa surface. Dans ces cas, les fonctions de transformation sont définies par approximation.

## 5.2 L'architecture d'Interopérabilité des Systèmes d'Informations Spatiales :

C'est une architecture multi-agents pour l'interopérabilité sémantique de SIG hétérogènes. Un agent est un composant logiciel autonome qui participe au fonctionnement global du système.

Chaque agent est responsable sur la résolution d'un problème ou l'exécution d'une tâche particulière. La figure V.5 illustre l'architecture générale, qui est composée de six types d'agents : l'Agent du Domaine, l'Agent d'interface, les Agents Relieurs, les Agents de Contrôle, l'Agent Superviseur et le Super Agent.

## 5.3 Description des différents types d'agents :

Nous décrivons chaque agent par son rôle général au sein de la coopération, les services qu'il offre, les connaissances qu'il possède, et les agents avec lesquels il communique.

**5.3.1 Agent du Domaine (AD) :** Cet agent est chargé du choix du domaine sur le quel le SIG est porté. Initialement il est responsable sur le partage et la réutilisation de bases de connaissances, les ontologies sont de plus en plus utilisées dans les systèmes d'interopérabilité de bases de données [MEN96, SCI94]. Grâce l'architecture d'interopérabilité, les ontologies sont vues comme un vocabulaire commun.

### Remarque :

Cet agent nous permettra de bénéficier de l'avantage de la réutilisation, car c'est le responsable sur le choix du domaine, sur lequel le système travaille. Donc c'est en changeant de contexte qu'on arrive avoir un nouveau domaine (une nouvelle ontologie). Par exemple, on peut à travers cet agent passer du domaine des risques naturels vers le domaine de la pollution. Ou même dans un même domaine (risques naturels), on arrive à passer d'un sous domaine (glissements des terrains) vers un autres sous domaine (inondations).

**5.3.2 Agent d'Interface (AI) :** il sert d'interface entre l'utilisateur et le système coopératif.

Il permet à l'utilisateur de définir son propre schéma en utilisant les termes de l'ontologie et de poser des requêtes sur ce schéma. L'AI communique avec le SA pour lui transmettre les requêtes désirées par les utilisateurs.

- **Remarque :**

C'est ici qu'on utilise la notion du concept de vue, c'est-à-dire que chaque utilisateur à travers sa requête définit sa propre vue.

**5.3.3 Agents Relieurs (AR) :** un agent Relieur est vu comme une interface entre un SIG local et les agents de contrôles. Il assure un service d'accès aux données locales d'une base. Ses tâches se résument à :

- 1) une translation de R en une requête R' exprimée dans un langage local,
- 2) envoi de R' à l'AS afin que ce dernier enregistre les agents AC concernés par la requête,
- 3) remise en forme des résultats intermédiaires avant leur envoi à l'agent émetteur de R.

Un agent Relieur communique d'une part avec un agent de contrôle (AC) en KQML (Knowledge and Query Manipulation Language) [FIN94] et d'autre part avec le SGBD local par des primitives de bas niveau. Afin d'éliminer les hétérogénéités de modèles entre les différents SIG, le schéma d'export local de chaque SIG est traduit dans le modèle commun Amun, que nous allons décrire dans les prochaines sections.

**5.3.4 Agent de Contrôle (AC) :**

Le système comporte un ensemble de ce type d'agents qui sont responsables sur le contrôle de leur environnement et de constater la différence entre deux états dans une intervalle de temps  $[t1, t2]$ , dans le cas d'une constatation d'un changement dans sa zone, l'agent de Contrôle s'active afin qu'il soit sélectionné par l'agent Superviseur.

- **Remarque :**

L'agent de Contrôle dispose de fonctions de contrôle des facteurs provoquant les risques, par exemple : fonction de calcul de mesure d'eau dans sa zone, s'il elle atteint le seuil de danger il communique l'information à l'Agent Superviseur, qui la transmettra de sa part au SA.

**5.3.5 Agent Superviseur (AS) :** il permet d'enregistrer / désenregistrer dynamiquement les agents qui participent à la coopération, dès qu'il reçoit des requêtes de l'AR. Sinon, il est chargé d'envoyer les résultats communiqués par les AC au SA (cette dernière tâche est assurée à chaque instant  $\Delta t$  de l'intervalle  $[t1, t2]$ ).

On remarque que ce principe est similaire à celui du tableau noir (2), là où tous les agents AC vident leurs informations chez l'agent AS. La figure V.4 donne plus de sens au rôle de ce type d'agent.

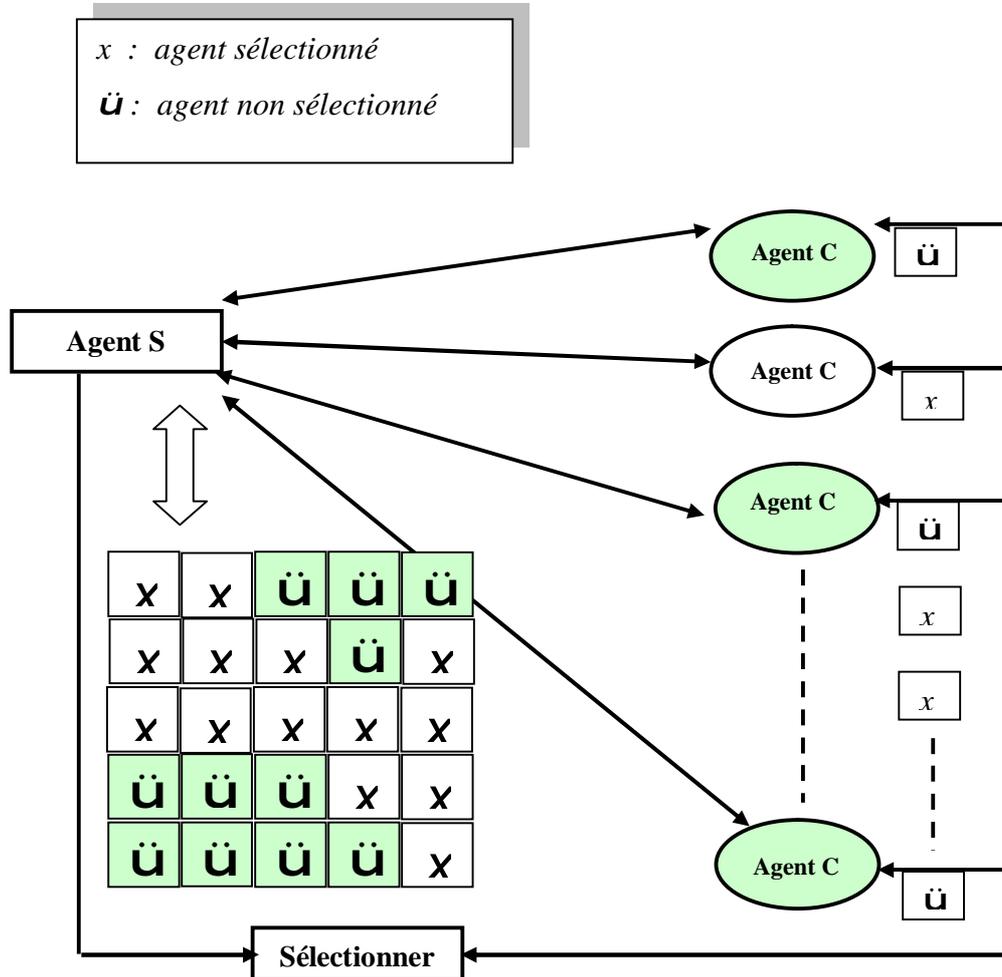


Figure V.4 : Interaction d'agents AC et l'agent S

**5.3.6 Super Agent ( SA ) :** il a pour tâche principale le traitement d'une requête globale. Ce traitement se décompose en plusieurs étapes :

- ø Sollicitation de l'agent AD pour localiser des SIG qui peuvent fournir les données demandées dans la requête ;
- ø Décomposition de la requête globale en sous-requêtes élémentaires et génération d'un plan d'exécution ;

(2) : Technique d'interaction entre les agents, détaillée dans le chapitre IV .

- ∅ Envoi des sous-requêtes aux agents AR concernés ;
- ∅ Assemblage des résultats ;
- ∅ Analyse des résultats ;
- ∅ Prendre la décision finale.

Le suivant schéma (Figure V.5) nous donnera plus de clarté sur l'architecture générale du système :

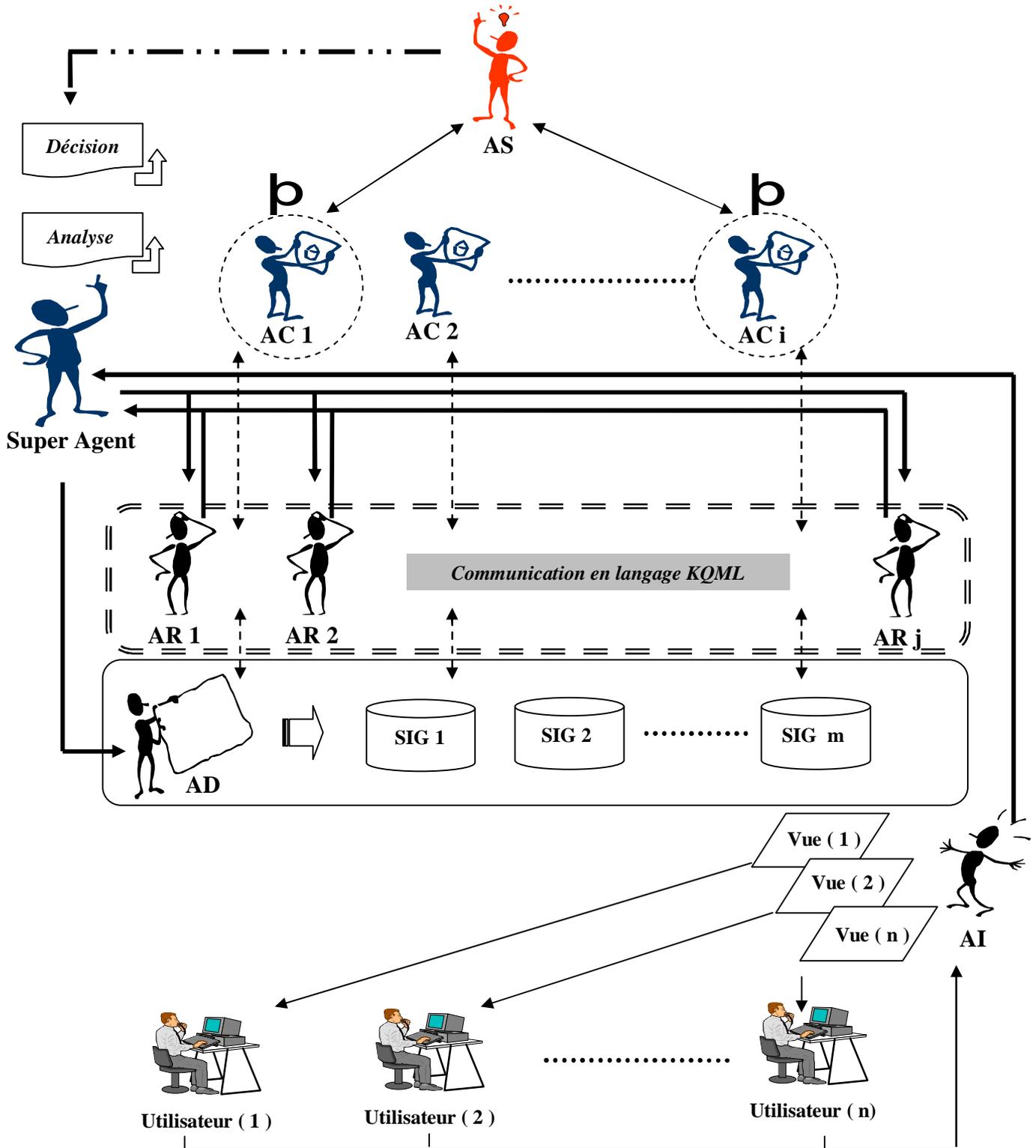


Figure V.5 : Architecture Générale du Système

## 5.4 Résolution du problème d'hétérogénéité :

Comme nous l'avons indiqué précédemment, le modèle Amun est utilisé pour résoudre à la fois les hétérogénéités de modèles et les hétérogénéités sémantiques. Pour ce faire, le modèle fournit deux catégories de concepts : *les concepts de base* et *les concepts spécialisés*. Les concepts de la première catégorie confèrent au modèle une orientation objet. Ils permettent de décrire toutes les entités, spatiales et non spatiales, du monde réel en terme d'objets, éliminant ainsi les hétérogénéités de modèles. Les concepts de la deuxième catégorie enrichissent les précédents et permettent de gérer les hétérogénéités sémantiques et la distribution des données. Ils sont utilisés pour améliorer la définition des objets ontologies, définir des agréments de concepts et des objets sémantiques. Nous présentons dans prochains paragraphes un aperçu général du modèle Amun.

### 5.4.1 Les concepts de base :

Ils sont très proches des concepts du modèle ODMG [CAT93] et regroupent essentiellement les notions de classe, objet, type, méthode, relation, héritage, encapsulation. Différents types de données peuvent être utilisés : les types atomiques (integer, string, ...) et les types complexes obtenus en appliquant récursivement les constructeurs set, list et tuple. Pour gérer des données spatiales, le modèle Amun fournit un ensemble prédéfini de types et d'opérateurs spatiaux. Dans l'architecture ISIS, les concepts de base sont utilisés pour décrire les schémas des différentes sources de données, et partiellement une ontologie (qui sera complétée avec des concepts spécialisés).

### 5.4.2 Les Concepts spécialisés :

Le modèle Amun fournit les concepts spécialisés suivants : règle sémantique, prédicat d'agréments de concepts et objet de médiation.

- **Les règles sémantiques** : sont utilisées pour enrichir et expliciter la définition d'un objet (ou classe) ontologique. L'enrichissement consiste à renforcer le lien is-a (2) pour définir et exploiter des relations de spécialisation, généralisation et synonymie entre les objets d'une ontologie. Une règle R est de la forme : *C1 -> C2 where conds* où C1 et C2 sont des objets de l'ontologie, conds des conjonctions de conditions élémentaires qui portent sur les attributs de C2.

---

(3) : est une notion importante inspirée d'une composante de l'ontologie spatiale qu'est la méréologie.

Par exemple, les deux règles suivantes complètent la définition des concepts Femme et Père.

Femme -> Personne where Personne.sexe= 'F'

Père -> Personne where Personne.NbreEnfant > 0

- **Les prédicats d'agrément de concepts** : Ils permettent à chaque site de déclarer les concepts ou parties de concepts de l'ontologie agréés, c'est-à-dire pour lesquels il possède un équivalent dans la source de données. Deux prédicats sont fournis :
  - a. **Prédictat d'agrément global** : un site S capable de fournir tous les attributs d'un concept C déclare un agrément global de C de la manière suivante : AGC(S, C).
  - b. **Prédictat d'agrément partiel** : un site S capable de fournir une partie des attributs d'un concept C déclare un agrément partiel de la forme suivante : APC(S, C, A1, ..., Aj) où A1, ..., Aj sont les attributs acceptés.
  
- **Les objets de médiation** : Dans le modèle Amun, la définition d'un objet de médiation s'appuie sur la notion de rôle introduite dans les modèles objets-rôles [KAM95]. Ainsi, un objet de médiation est vu comme un objet complexe pouvant jouer deux rôles pour représenter une même réalité. Le premier rôle, appelé *rôle ontologie*, est utilisé pour définir un contexte. Ce dernier correspond à une réalité décrite en termes de concepts de l'ontologie. Le deuxième rôle, appelé *rôle local*, définit la même réalité en termes de concepts locaux d'une source. Des transformations de contextes sont ensuite définies pour mapper les deux rôles. Ainsi, un objet de médiation est composé d'un objet rôle ontologie, d'un objet rôle local et des transformations de contexte.
  - a. **Objet rôle ontologie** : il est créé pour chaque prédicat d'agrément de concept en appliquant séparément ou conjointement les opérateurs select et projet à un objet de l'ontologie. L'opérateur select spécialise un objet de l'ontologie. L'opérateur *project* restreint les propriétés d'un objet de l'ontologie. Par exemple, l'objet de médiation Mpersonnel correspondant au concept de personne de l'ontologie est défini par les opérations suivantes :

```
DEFINE MEDIATION CLASS Personne as Mpersonne1
```

```
ROLE ONTOLOGY IS PROJECT (Personne, Nom, DateN, sexe)
```

**b. Objet rôle local** : il est créé pour chaque prédicat d'agrément de concept en appliquant les opérateurs *select*, *project*, *addproperties*, *union* et *join* à un ou plusieurs objets locaux. L'opérateur *addproperties* ajoute des attributs qui sont implicites dans un objet local. L'opérateur *union* généralise deux ou plusieurs objets locaux en un seul objet en conservant les propriétés communes. L'opérateur *join* permet d'agréger plusieurs objets en un objet complexe.

Par exemple, le rôle local de l'objet de médiation *Mpersonne1* est défini comme suit :

```
DEFINE MEDIATION CLASS Personne as Mpersonne1
```

```
ROLE LOCAL IS PROJECT (Parcelle, Proprietaire.nom, Proprietaire.age, Proprietaire.sexe)
```

- **Transformation de contexte** : C'est un ensemble de fonctions qui permet de mapper structurellement et sémantiquement les deux rôles (soit  $r_1$  et  $r_2$ ) d'un objet de médiation. Une fonction de transformation de contexte se présente sous la forme  $attribut_i = f_{r_1 \rightarrow r_2}(\text{attribut}_j)$  et forme  $attribut_j = f_{r_2 \rightarrow r_1}^{-1}(\text{attribut}_i)$ .

Par exemple, l'objet de médiation *Mpersonne1* est complété par les transformations

suivantes de contexte :

$\text{age} = f(\text{DateN})$  avec  $f(x) = \text{date}(\text{ )} - x$

$\text{dateN} = f^{-1}(\text{age})$  avec  $f^{-1}(x) = \text{année}(\text{ )} - x$

$\text{sexe} = f(\text{sexe})$  avec  $f(M) = 1$  et  $f(F) = 0$

$\text{sexe} = f^{-1}(\text{sexe})$  avec  $f^{-1}(1) = M$  et  $f^{-1}(0) = F$

$\text{Nom} = f(\text{nom})$  avec  $f(x) = \text{Id}(x)$

### 5.5 Vue global du système (SMA) :

Le support de la distribution au sein de notre approche méthodologique est réalisée pour une part essentielle par des systèmes multi-agents. Nous considérons que les agents cognitifs (agents ayant des capacités de réflexion et de planification) sont fortement adaptés à notre problématique. En effet, si nous déciderons de décomposer notre système, nous obtiendrons les trois sous systèmes suivant :

– *Sous-système opérationnel* : représente le support de la décentralisation géographique des infrastructures physiques. Les agents échangent des informations ;

– *Sous-système informationnel* : chargé de distribuer l'information (gammes, nomenclatures, ...) partiellement ou totalement au sein d'un ensemble de modèles de simulation.

Ceci est réalisé grâce aux capacités interactionnelles et cognitives des agents ;

– *Sous-système décisionnel* : sert à modéliser les processus de prise de décision d'un système industriel. En effet, les agents peuvent être utilisés pour modéliser les différents acteurs au sein d'un processus de prise de décision et cela quelque soit leur niveau (tactique, stratégique ou opérationnel).

### 5.6 Vue globale de la Méréologie :

Afin de démontrer la présence de cette importante fonction de l'ontologie spatiale durant notre étude, nous avons pensé à une décomposition similaire à celle du système présenté précédemment.

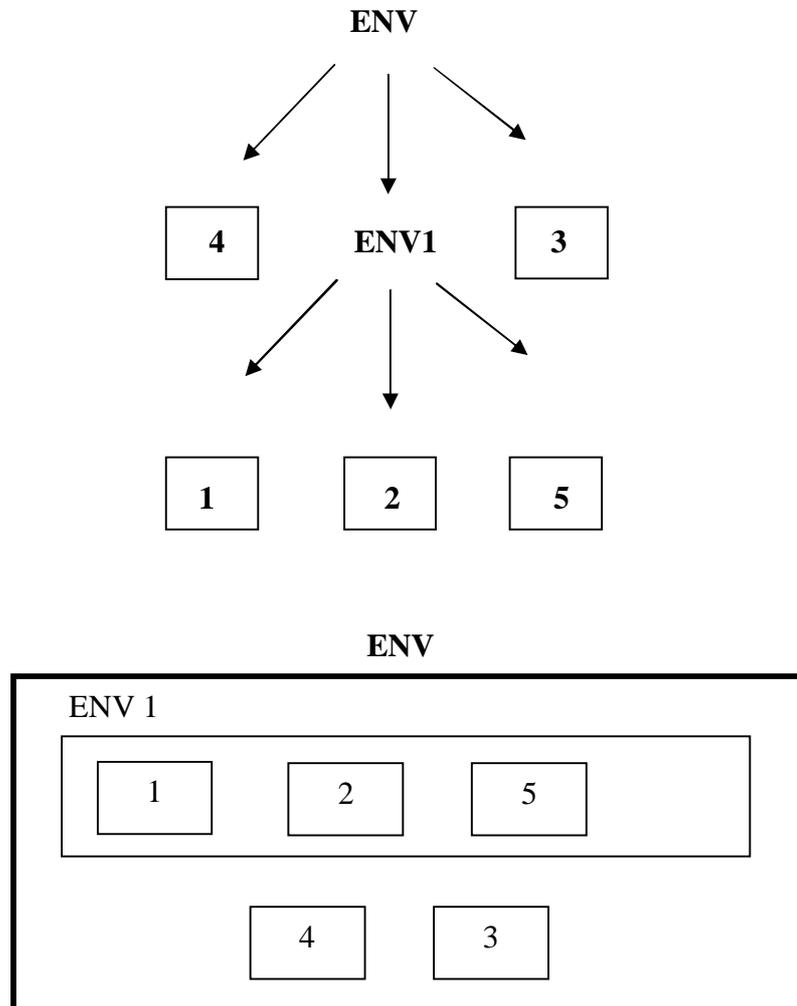
Pour des raisons de simplicité, nous allons nous contenter de donner juste une vue globale de chaque type de la Méréologie et de montrer brièvement sa présence dans notre système.

#### 5.6.1 Méréologie Structurelle :

Sa présence a été concrétisée, lorsqu'on a décidé de décomposer l'environnement surveillé en sous environnement ou bien des cellules (Cellule 3D-t).

Un sous environnement est une partie de l'environnement,

Une cellule est une partie du sous environnement.



### 5.6.2 Méréologie Fonctionnelle :

**But :** « *faire, rôle physique* »

- **Exemple :** *mesurer, niveau station pluviométrique*

Cet agent est chargé de mesurer le niveau d'eau d'une station pluviométrique dans sa zone, en cas de dépassement ou atteinte de niveau de risque de provocation de glissement il communique l'information à un autre agent afin de prendre les prévisions et les préventions nécessaires. Dans notre système c'était le cas de l'agent AC qui fournit les informations nécessaires au SA (à travers l'agent AS), afin que ce dernier prenne les initiatives nécessaires.

**- Méréologie Comportementale :****ü** Ordre / planning

C'est le cas de l'agent SA qui donne des ordres à ses agents en envoyant ses sous requêtes et suivre des étapes bien ordonnées avant de prendre la décision.

**ü Conclusion :**

Nous avons présenté dans ce chapitre une solution au problème des systèmes de prévention des risques naturelle. La solution proposée utilise de nouvelles techniques des ontologies spatiales, notamment la Méréologie, qui est une perfection sémantique et universelle. Nous avons également utilisée une nouvelle approche dans le domaine des SIG, qu'est l'approche des système multi-agents, une approche qui nous a permis de voir l'interopérabilité, entant qu'élément essentiel dans un système distribué, en permettant à un utilisateur d'exploiter, de manière transparente, les ressources de différents SIG, physiquement répartis et hétérogènes par leur contenu, leurs fonctionnalités et leur plate-forme. A la fin nous avons voulu montré la présence d'importantes notions inspirés des ontologies spatiales et du monde des agents, à travers les deux vues globales de la Méréologie et des SMA.

## • **Conclusion Générale et Perspectives :**

Sur ce nous pouvons dire que notre étude est terminée. Une étude à travers laquelle nous avons présenté une nouvelle solution à un ancien problème qui a suffisamment pris le temps et qui a été le souci majeur des chercheurs qui travaillent sur les systèmes d'informations géographique, c'est le problème de glissement de terrain. Cette solution utilise de nouvelles techniques, qui sont les ontologies spatiales et l'approche des systèmes multi-agents pour la mise en œuvre des systèmes de prévention des risques naturels, notamment le glissement de terrain.

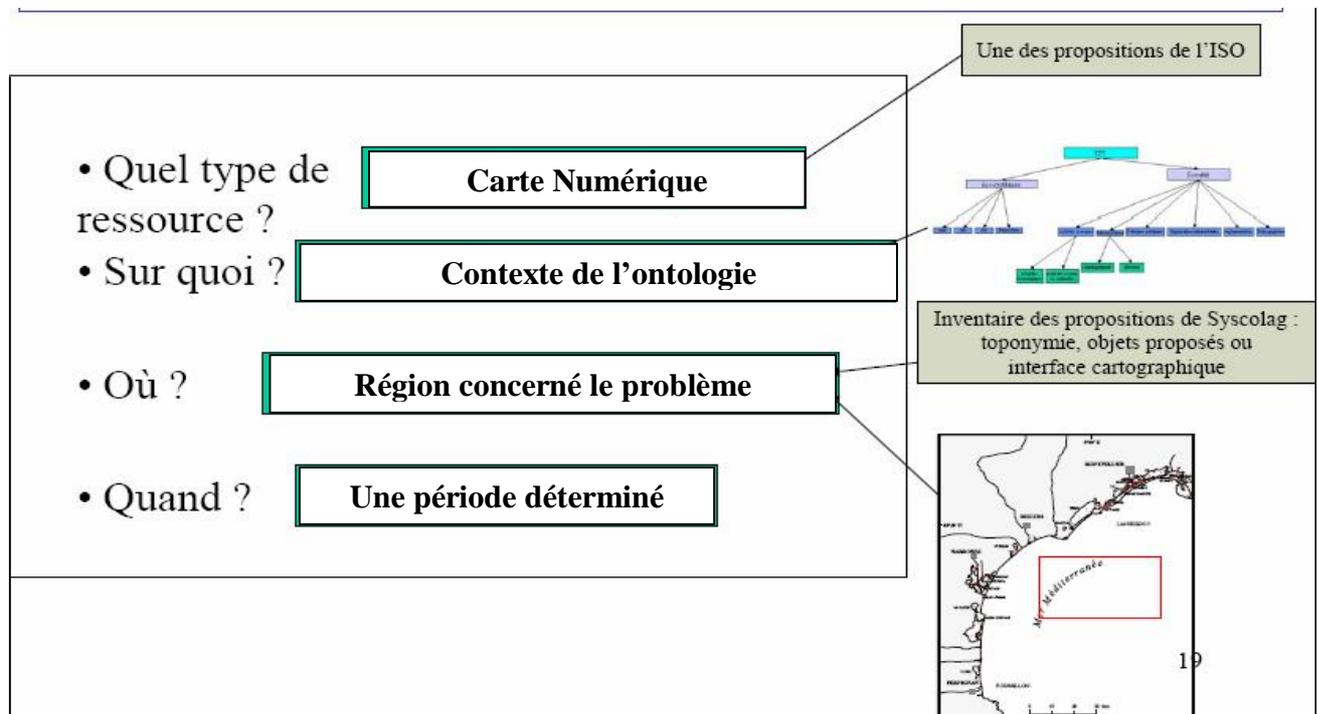
L'intégration de ces nouvelles techniques dans la mise en œuvre d'axes de recherche sur les phénomènes de l'environnement en général, assurera les refontes des systèmes, le recyclage des spécialistes, une coopération efficace avec des **utilisateurs** qui ont les mêmes intérêts et les bénéfices de cette coopération, cet avantage est acquis grâce à l'interopérabilité.

Notre travail a connu plusieurs étapes. Après la présentation du phénomène des risques naturels en général et le glissement de terrain en particulier afin de comprendre le principe scientifique du phénomène nous avons donné un aperçu général sur les systèmes d'informations géographiques pour comprendre certains concepts fondamentaux et extraire leurs limitations dans le domaine de résolution du phénomène de glissement de terrain. Nous avons constaté que l'intégration des ontologies spatiales dans une approche à base d'agents nous permettra d'aboutir à des meilleurs résultats, raison pour laquelle nous nous sommes retrouvé devant le besoin de présenter un chapitre présentant les ontologies, et un deuxième concernant le monde des agents et leurs interactions. Pour arriver au noyau de notre travail, c'est la description de la solution proposée avec ses différents essentiels concepts, en particulier la notion d'interopérabilité et d'hétérogénéité.

Comme perspectives, nous pensons que le développement d'une plate forme qui supporte les importants concepts et techniques déjà dévoilés à travers notre étude sera une meilleure proposition. Aussi le développement d'un système d'information géographique distribué hétérogène (car ces deux dernières propriétés sont vérifiées dans notre étude) donnera plus d'illustration et de valeur à notre approche.

Nous pouvons par exemple proposer la présente interface, qui permet à un utilisateur d'un SIG qui s'intéresse au phénomène de glissement de terrain de présenter sa requête en introduisant les paramètres essentiels son interrogation (voir Figure VI.1).

Pour obtenir à la fin les réponses désirées sous deux formats : format géographique et format textuel. Selon ces résultats l'utilisateur arrive à prendre ses prévisions ou même coopérer avec un système (agent) d'aide à la décision.



*Fiche ISO n°122 : étendue spatio-temporelle de la ressource*

- ...

**•Etendue spatiale de la ressource**

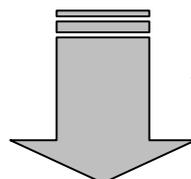
Nord : 48.1°N  
 Sud : 48.3°N  
 Ouest : 3.3°E  
 Est : 3.35°E



**•Etendue verticale de la ressource (unité métrique) :**

zmax : +300  
 zmin : -200

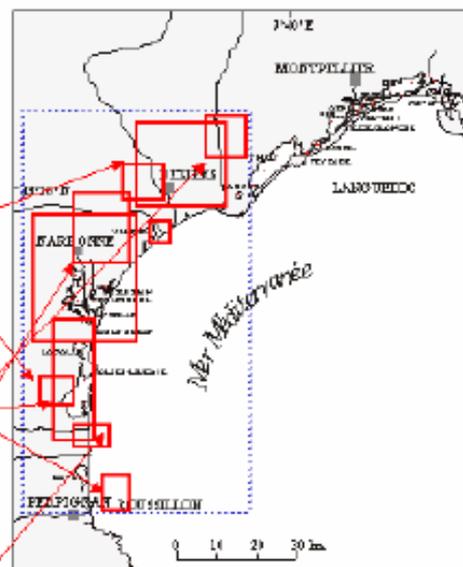
- Période de la surveillance de la ressource : 01/01/2005 au 30/06/2005
- ...



*Résultats de l'interrogation*

**Réponse textuelle :**

1. Ressource de type **raster** portant sur les Thèmes : **bathy**, **pêche** dans la zone de **Etang de Thau**, pour la période du 17/05/2004, méthodes employées : **échantillonnage aléatoire** ..... **DETAIL**
2. Ressource de type **vecteur** portant sur les Thèmes : **réglementation maritime** dans la zone de **Sète**, pour la période du 17/05/2001, méthodes employées : **numérisation** ..... **DETAIL**
3. Ressource de type **diagraphie** portant sur les Thèmes : **aquifères karstiques** dans la zone de **Aigues Mortes**, pour la période du 10/03/2000, méthodes employées : **sismique** ..... **DETAIL**
4. Ressource de type **article** portant sur les Thèmes : **GIZC** dans la zone de **Palavas**, pour la période du 17/05/2004, méthodes employées : **coursage** ..... **DETAIL**
5. Ressource de type **orthophotos** portant sur les Thèmes : **urbanisme** dans la zone de **La grande Motte**, pour la période du 05/2003, méthodes employées : **débré** ..... **DETAIL**
6. Ressource de type **interviews** portant sur les Thèmes : **activités récréatives** dans la zone de **Port Camargue**, pour la période du 17/05/1999 au 10/10/2001, méthodes employées : **interviews semi-directifs** ..... **DETAIL**
7. Ressource de type **station d'observation** portant sur les Thèmes : **température de l'eau** dans la zone de **Etang de Leucate**, pour la période du 10/10/2003 au 17/05/2004, méthodes employées : **interpolation** ..... **DETAIL**



**Réponse Cartographique**

**Figure VI.1** : Exemple de réponse à une requête [Jul04].



## Résumé

Durant les dernières années, les phénomènes des risques naturels sont devenus un souci de priorité, notamment les glissements de terrains, qui est un phénomène particulièrement sensible. La réduction des risques provoqués par ce dernier, nécessite une connaissance approfondie des séismes, des tempêtes, des inondations ainsi que des enjeux humains, économiques et environnementaux. La gestion **des risques naturels** nécessite de nouveaux systèmes de surveillance des zones sensibles afin de détecter des régions géographiques sur lesquelles se porte l'étude et de localiser sa progression. Cette approche s'appuie sur des observations aussi permanentes et précises que possible. Les SIG jouent un rôle capital dans le transfert des connaissances et des méthodologies et dans l'aide à la prise de décision. Leur utilisation dans le domaine de la prévention est primordiale, en tant qu'outil de synthèse qui permet d'accéder à la technologie d'analyse géographique. L'évaluation de la bonne décision en matière de prévention des risques naturels passe par des connaissances d'interactions à court, moyen et long terme, afin de maintenir et d'améliorer l'état des systèmes d'alerte, de prévention et d'entretien des ressources. Pour de telles raisons nous nous retrouverons devant le défi de présenter une fiable approche, en utilisant de nouvelles techniques, qui sont les ontologies spatiales et les systèmes multi agents, pour la mise en œuvre des systèmes de prévention des risques naturels. Pour notre étude, nous allons nous contenter de traiter le problème des glissements de terrain, dont souffre la ville de Constantine.

**Mots-Clés :** *Système d'Information Géographique, glissements de terrains, Ontologies Spatiales, Systèmes Multi Agents, Système de Prévention, Interopérabilité, Hétérogénéité.*