



HAL
open science

Représentation des données spatiales à différents niveaux d'abstraction : application à l'archéoastronomie

El-Hadi Khoumeri

► **To cite this version:**

El-Hadi Khoumeri. Représentation des données spatiales à différents niveaux d'abstraction : application à l'archéoastronomie. Autre [cs.OH]. Université Pascal Paoli, 2007. Français. NNT : . tel-00188500

HAL Id: tel-00188500

<https://theses.hal.science/tel-00188500>

Submitted on 17 Nov 2007

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

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



UNIVERSITÉ DE CORSE – PASQUALE PAOLI
U.F.R. SCIENCES ET TECHNIQUES

THÈSE

pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE CORSE

ÉCOLE DOCTORALE ENVIRONNEMENT ET SOCIÉTÉ

Discipline : Sciences pour l'Environnement

Spécialité : Informatique

présentée par

M. El-Hadi KHOUMERI

Représentation de données spatiales à différents

niveaux d'abstraction :

Application à l'archéoastronomie

sous la direction du Professeur

Jean-François SANTUCCI

soutenue publiquement le 28 novembre 2006 devant le jury composé de :

Rapporteurs : M. Djamel BENSLIMANE, *Professeur, Université Lyon 1*
M. Mourad OUSSALAH, *Professeur, Université de Nantes*
Examineurs : M. Scott MADRY *Professeur, Université Caroline du Nord*
M. Michael HOSKIN, *Professeur, Université de Cambridge*
M. Jean-François SANTUCCI, *Professeur, Université de Corse*
M. Dominique FEDERICI, *MCF, Université de Corse*
M. Tahar KHAMMACI, *MCF, Université de Nantes*
Invitée : Mme. Ghjasippina THURY-BOUVET, *Spécialiste Anthropologie*

TABLE DES MATIERES

Chapitre I : Introduction	6
1 Introduction	7
1.1 Motivation	9
1.2 Problématique.....	11
1.2.1 Contexte de l'étude.....	11
1.2.2 Organisation du rapport.....	12
Chapitre II : L'information géographique	13
2.1 Information géographique et cartographie	14
2.2 Modes de représentation des données	15
2.3 Organisation des données en couches	17
2.4 Représentation de la géométrie d'une couche.....	18
3 La généralisation.....	21
3.1 La généralisation en cartographie traditionnelle	23
3.2 La généralisation dans le contexte numérique.....	26
3.3 Mise en œuvre de la généralisation automatique.....	28
3.4 La généralisation graphique.....	30
3.4.1 La sélection.....	30
3.4.2 La simplification.....	31
3.4.3 Le regroupement.....	31
3.5 La généralisation conceptuelle	31
3.5.1 La symbolisation.....	31
3.5.2 La classification.....	32
3.6 Le déplacement.....	32
3.6.1 déformation, exagération.....	32
3.6.2 déplacement.....	32
4 Etat de la recherche en généralisation	33
4.1 Modèle de généralisation.....	35
6 Représentation Multiple	38
6.1 Problématique de la représentation multiple	41
6.2 Dimensions de la représentation multiple	43
6.2.1 La résolution multiple.....	45
6.2.2 Vue multiple	47
6.2.3 Classification multiple.....	47
6.3 Nouvelles applications multi-représentation	47
6.3.1 Cartographie électronique multi-représentation	48
6.4 Conclusion.....	50
Chapitre III Approche de résolution	52
1 Approche de résolution.....	53
2 Analyse des besoins et difficultés.....	54
2.1 Approche de résolution informelle.....	56
2.1.1 Niveaux d'abstraction.....	56
2.1.2 Point de vue	58
2.1.3 Association entre les niveaux et les représentations.....	59
2.1.4 Fonctions de transferts.....	62

2.1.5 Outils géométriques.....	64
2.2 Approche de résolution formelle	64
2.2.1 Niveau d'abstraction.....	65
2.2.2 Formalisation	66
2.2.2.1 Notion d'application.....	66
2.2.2.2 Fonctions de transfert	67
2.2.2.3 Notion de Représentation	68
2.2.2.4 Notion de Navigation (Transfert)	68
2.2.2.5 Notion d'Entité	69
2.2.2.6 Notion de catégories de fonctions :	70
2.2.3 Notation formelle.....	71
2.2.3.1 Formalisation du modèle SIG.....	71
2.2.3.2 Exemple.....	72
2.2.3.2.1 Modèle informel	72
3.2 Modèle Formel	80
4. Conclusion	82
Chapitre IV Conception Orientée Objet.....	84
1 introduction.....	85
2 Conception Orientée Objet et SIG.....	85
2.1 Le point.....	86
2.2 Les représentations	86
2.2.1 les relations entre représentations.....	89
2.2.2 Les fonctions de transferts	90
2.3 Fonctionnalités du logiciel.....	92
2.3.1 Aspect initialisation	92
2.3.2 Aspect navigation	96
2.4 Exemple d'application :	101
3 Conception Orientée Objet du logiciel GIS-3A	103
3.1 Modélisation en UML	103
3.2 Vue conceptuelle du logiciel GIS-3A.....	106
4 Principale classe de GIS-3A	106
5 Conclusion	109
Chapitre V Implémentation & exemple d'application	110
1 Implémentation de GIS-3A	111
2 Exemple d'application.....	113
2.1 Présentation du site du Monte Revincu	113
2.1.1 Situation géographique	113
2.1.2 Répartition des monuments	114
2.2 Etude de la multi représentations.....	118
2.3 Dessins graphiques :	122
3 Etudes archéoastronomiques	123
3.1 Présentation de l'archéoastronomie.....	123
3.2 Résultats au Monte Revincu	124
3.3 Application de l'étude à l'ensemble des mégalithes Corse	126
3.4 Vue panoramique 360°	131
3.4.1 L'approche logicielle.....	131
3.4.2 Génération de la vue panoramique avec un SIG	133
3.4.3 Validation de l'approche	134
4 Conclusion	135

Chapitre VI : Conclusion Générale	136
Bilan.....	137
Perspectives	139
LISTE DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES ET PUBLICATIONS.....	141
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	144
Table des figures	151

Chapitre I : Introduction

1 Introduction

La carte est le moyen le plus naturel de transmission de l'information géographique. Elle est aussi un excellent support pour la visualisation des données analytiques sur des phénomènes à référence spatiale. Ceci inclut les cartes topographiques, aussi bien que les cartes schématiques (ex : réseau de transport urbain).

Pour des considérations liées à des contraintes technologiques, la représentation du monde réel a été discrétisée, en cartographie classique, en tenant compte des projets et applications souhaitées, en représentations à différentes échelles correspondant à plusieurs niveaux d'abstraction. La carte est établie à une échelle donnée, partant d'une carte dite «de base» réalisée à la plus grande échelle possible, puis par un processus de «dérivation », on obtient toute une gamme d'échelle de représentation plus petite. Cette approche a l'inconvénient de réaliser autant de cartes à échelles différentes que d'applications, alors qu'à l'origine le «monde réel» est unique. En effet, outre les coûts et délais de réalisation, la maintenance et la mise à jour d'un tel système de cartes se sont toujours avérées difficiles, longues et coûteuses. Si cette approche était inévitable pour la cartographie classique, on a continué à l'utiliser dans les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les bases de données géographiques.

Les producteurs de cartes maintiennent de façon identique une base de données par gamme d'échelle sans aucune inter-relation. De ce fait, outre les problèmes classiques de la redondance des données, et l'impossibilité de la propagation des mises à jour, le contrôle des cohérences est rendu très difficile. Pour maintenir la cohérence et éviter les redondances, la solution idéale serait une base de données où l'information géométrique est saisie à l'échelle la plus précise, et toutes les visualisations à des échelles moins précises seraient dérivées automatiquement à travers des processus de généralisation cartographique. Malheureusement cette dérivation ne peut être complètement automatisée [WEI 95]. Par conséquent, le stockage explicite de plusieurs représentations de la géométrie des objets (une par échelle) s'impose. Néanmoins plusieurs solutions ont été mises en oeuvre pour parer aux inconvénients induits, dont la mise en oeuvre d'une base de données multi-échelle : une base de données où toutes les représentations requises coexistent et sont inter-reliées.

Les objets spatiaux peuvent ainsi être associés à une variété de représentations géométriques qui sont dépendantes de l'échelle. Ces représentations doivent être appelées base de données multi-résolution, l'échelle étant un concept qui se réfère au dessin d'une carte. La résolution est usuellement définie comme étant la dimension géométrique minimum qu'un objet doit avoir pour susciter de l'intérêt et par conséquent pour être représenté dans une base de données.

Le stockage des représentations du monde réel dans une base de données s'avère utile et très important, par contre différents utilisateurs partagent la même base de données mais chacun suivant ses besoins et ses intentions sur l'analyse de ses données. Pour cette raison, chaque utilisateur voudrait avoir une représentation spécifique à ses besoins. Par exemple ; pour un même espace géographique, un archéologue s'intéresse aux objets constituant le site alors qu'un anthropologue cherche à connaître les toponymes des parcelles du cadastre.

Au delà de la cartographie, des représentations multiples des données géographiques sont nécessaires pour servir les communautés d'utilisateurs multidisciplinaires. Ainsi la même parcelle de terrain peut subir des activités d'analyse, de planification et de reboisement de la part de l'administration locale, des forestiers,...

La variété des représentations qui peuvent être enregistrées dans une base de données s'étend sur différentes facettes [SCA et al 99] :

- La géométrie multiple qui peut caractériser un même objet dans différents contextes.
- La coexistence de plusieurs niveaux d'abstraction dans la classification des objets qui peut résulter en une représentation indépendante et simultanée d'une composition d'objets avec les composantes des objets.
- La coexistence de plusieurs niveaux d'abstraction dans la description des objets qui peut résulter en des attributs ayant un domaine de valeur hiérarchique.
- La représentation multiple en terme d'information thématique correspondant au maintien de plusieurs points de vue dans les bases de données classiques.

Les systèmes commerciaux couvrent de façon très insuffisante les besoins en représentations multiples : très peu de SIG peuvent représenter de façon explicite les objets à géométrie multiple. Les SGBD (Système de Gestion des Bases de Données) courants fournissent un support très limité pour les représentations thématiques multiples. Ce qui en

fait un sujet de recherche d'actualité où la communauté des chercheurs en SIG et base de données est très active dans le développement de propositions de nouveaux schémas d'identification et de description d'objets.

1.1 Motivation

Nous présentons dans ce travail comment, à partir d'un projet commun entrepris à l'Université de Corse avec des anthropologues, des archéologues et des astronomes, s'est posé le problème de la définition des notions de niveaux d'abstraction et de vues de données spatiales. Des premiers travaux nous ont permis de mettre en évidence un ensemble de problèmes lors de la manipulation des données spatiales anthropologiques, astronomiques et archéologiques [KHO & SAN 04].

Ce projet interdisciplinaire a débuté par une série de travaux concernant notamment :

- le recensement et la localisation de sites néolithiques, de toponymes, de légendes, etc.
- des mesures de l'orientation des sites funéraires néolithiques corses.
- un travail d'analyse à effectuer à différents niveaux d'interprétation :
 - o analyse des localisations des sites par rapport à la topographie et la toponymie
 - o analyse des liens entre sites et légendes
 - o analyse des orientations d'un point de vue astronomique.

Ces travaux nous ont permis de mettre en évidence comment la manipulation de données anthropologiques, astronomiques et archéologiques selon plusieurs niveaux d'abstraction facilite les analyses précédentes.

L'intégration de la notion de niveaux d'abstraction dans un SIG repose sur :

- une formalisation des concepts de niveaux d'abstraction
- une conception orientée objets facilitant l'implémentation des concepts précédents et permettant la définition de fonctions de transfert automatique entre niveaux d'abstraction.
- Une implémentation fondée sur une réalisation en VB (Visual Basic).

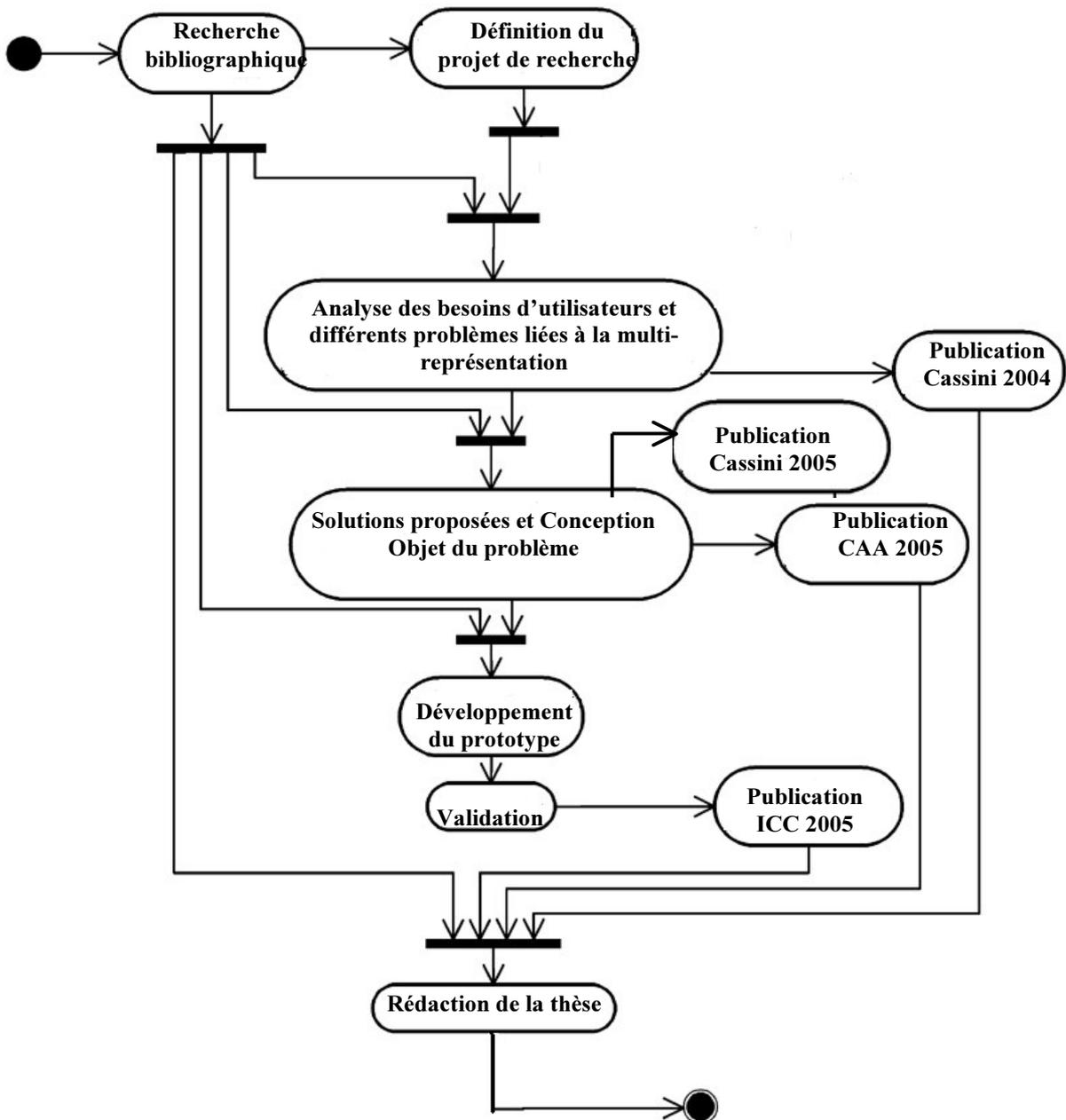


Figure 1 : Schéma représentatif de la méthode de recherche

La figure 1 présente un schéma de la méthode de recherche de la thèse ainsi que certaines publications dans des conférences suivant leurs chronologies de publication.

1.2 Problématique

Dans cette partie nous présentons tout d'abord le contexte de la recherche et puis nous décrivons l'organisation de ce rapport.

1.2.1 Contexte de l'étude

L'étude présentée dans ce rapport fait partie d'un ensemble de travaux concernant l'utilisation des SIG en archéologie. Dans notre cas la problématique générale est la suivante : par le croisement de données sur le patrimoine naturel et culturel, l'objectif est d'offrir aux archéologues, et anthropologues un outil performant « ouvert » dans le sens où les possibilités offertes par des requêtes complexes laissent au chercheur toute latitude de mise en corrélation d'informations. Comme nous le verrons dans le chapitre 4, l'archéoastronomie repose sur des études provenant de trois domaines distincts : l'archéologie, l'anthropologie et l'astronomie.

La volonté de se placer à l'interface entre les domaines précédents afin d'expérimenter les capacités des SIG à être utilisés dans le contexte d'une recherche en archéoastronomie a nécessité en particulier de faciliter les analyses archéoastronomiques suivantes à l'aide d'un SIG : (i) mener des recherches dans le cadre des aspects astronomiques, liés aux monuments archéologiques ; (ii) simuler le ciel des « Anciens » et calculer les éphémérides appropriées, pour ensuite les confronter aux sources orales ; (iii) établir des liens géométriques entre les différents sites ; (iv) étudier les liens entre toponymie et sites intéressants d'un point de vue archéoastronomique.

Le but est de pouvoir aider les anthropologues, archéologues et archéoastronomes à définir les informations suivantes dans un SIG :

- Localisations GPS (Global Positioning System) de menhirs et dolmens.
- Abstractions de ces informations (un point représente un alignement de menhirs par exemple), à un niveau plus élevé, un point représentera un site composé de plusieurs alignements et dolmens et autres structures, à un niveau très bas, les dimensions physiques peuvent être représentées.
- Plusieurs sémantiques doivent pouvoir être associées à ces informations (archéologiques, anthropologiques ou astronomiques).
- Des analyses géométriques et astronomiques doivent pouvoir être effectuées.

- Les informations pertinentes en archéoastronomie sont issues essentiellement de trois domaines : archéologie, anthropologie et astronomie.

1.2.2 Organisation du rapport

Le Chapitre I représente un état de l'art sur la multiple représentation ainsi que la généralisation dans le domaine des systèmes d'information géographique, cette partie brosse aussi un bref état de l'art de l'utilisation des SIG en SHS (Sciences Humaines et Sociales). Dans le chapitre II nous présentons les besoins et les problèmes rencontrés par les spécialistes en SHS, en particulier nous mettons en évidence les problèmes soulevés dans le cadre d'une utilisation des SIG pour l'archéoastronomie, puis nous présentons les approches de résolution des problèmes ainsi que la présentation des concepts de base utilisés pour résoudre les problèmes mis en évidence dans ce chapitre. Le chapitre III décrit comment les concepts précédents sont traités dans le cadre d'une conception orientée objets (COO), et les différentes fonctionnalités de logiciel ainsi qu'une approche COO en UML. Le chapitre IV, consacré à la validation des concepts précédents, est présenté à travers un exemple concret. Les perspectives à court et moyen termes ainsi qu'une discussion des résultats sont détaillés dans la conclusion.

Chapitre II : L'information géographique

Dans la première partie de ce chapitre nous présentons une définition de l'information géographique ainsi que les différents modes de représentations des données géographiques. Puis dans la seconde partie, nous présentons les concepts théoriques pour l'adaptation des bases des données géographiques, notamment la généralisation cartographique et la multi-représentation, l'objectif principal de notre recherche étant de proposer un modèle de données à représentation multiple pour une base de données géographiques.

2.1 Information géographique et cartographie

L'association internationale de cartographie (A.C.I) définit la cartographie comme étant " l'ensemble des études et des opérations scientifiques, artistiques et techniques intervenant à partir des résultats d'observations directes ou de l'exploitation d'une documentation, en vue de l'élaboration et de l'établissement de cartes, plans et autres modes d'expression, ainsi que leur utilisation. " [POR 89].

La carte est donc un moyen de représentation et de communication d'une information à référence spatiale.

L'information géographique étant toute information se rapportant à un territoire retraçant une description thématique, un historique et une localisation. Elle est donc porteuse de deux types d'information: géométrique (localisation) et sémantique (description).

Ce double aspect de l'information géographique dénote une dualité dans sa modélisation. En effet, ces deux aspects complémentaires dans leur description sont duo dans leur structuration. Ceci engendre une difficulté d'appréhension pour une modélisation efficace de l'information géographique.

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont apparus pour répondre à ce problème et aux besoins des utilisateurs de l'information géographique. En plus de la modélisation de l'information géographique, les SIG sont définis aussi comme des outils d'aide à la planification et la prise de décision, constitués d'une part d'une base de données à référence spatiale, et d'autre part d'un ensemble de procédures techniques permettant l'acquisition de données, leurs traitements, mises à jour et archivage, ainsi que l'analyse des données et l'affichage des résultats. Un SIG intègre généralement cinq fonctionnalités de base dites "5 A" :

- l'**Acquisition** pour la collecte des données grâce à des fonctions de saisie des données sous forme numérique
- l'**Archivage** grâce à un système de gestion de bases de données (SGBD)
- l'**Analyse** par des fonctions de manipulation, croisement et transformation des données spatiales au moyen de requêtes dans le SGBD
- l'**Affichage** pour la restitution des résultats par des fonctions de mise en forme et de visualisation
- l'**Abstraction** par des fonctions rendant compte de la modélisation de la réalité.

L'apport des SIG par rapport à la cartographie traditionnelle est, d'une part le **stockage** d'une quantité importante de données, et d'autre part une capacité de **traitement de l'information** accrue.

Pour assurer toutes ses fonctionnalités, la base de données qui est au cœur d'un tel système, a besoin de puissants concepts et formalismes de modélisation des objets géographiques. C'est ce que nous nous proposons d'introduire dans ce chapitre, partant des différentes visions du monde réel et les modes de représentation des données, aux formalismes utilisés en modélisation ainsi que l'organisation interne de l'information dans les bases de données.

2.2 Modes de représentation des données

La représentation des objets géographiques dans un SIG peut se faire selon deux modes :

- **Mode raster (ou matriciel):** L'espace est régulièrement découpé en cellules élémentaires. La géométrie la plus utilisée pour ces cellules est le carré. Le plan est ainsi discrétisé en carrés élémentaires appelés pixels, dont la taille détermine la résolution. Un pixel est repéré par rapport à son rang en ligne et colonne. Il existe aussi d'autres techniques de découpage régulier de l'espace, ou les cellules élémentaires peuvent prendre la forme de polygones variés. L'inconvénient majeur de ce mode est le volume très important des données, qui nécessite l'application de techniques de compactage de données. Ce mode est très utilisé en télédétection (traitement d'images), en saisie automatique des données par l'utilisation de scanners ainsi que pour les modèles numériques de terrain (MNT sous-forme de grille régulière)
- **Mode vecteur (ou filaire):** Dans ce mode, un objet est représenté par ses coordonnées (X, Y ou X, Y, Z). Un objet linéaire est représenté par la liste

ordonnée des points qui le composent et un objet surfacique ou zonal est représenté par la liste des lignes qui constituent sa frontière. L'avantage principal de ce mode, relativement au mode raster, est le volume très faible des données. Par contre la saisie des données est très lente et coûteuse (levées topographiques, photogrammétries, digitalisation manuelle,...) et son automatisation n'est pas encore réalisable.

Actuellement il existe beaucoup d'outils logiciels permettant de passer d'un mode à un autre (vectorisation: raster \rightarrow vecteur, rasterisation: vecteur \rightarrow raster). Si les outils de rasterisation sont très efficaces et le résultat dépendant essentiellement de la résolution utilisée, la vectorisation reste par contre un grand problème, car elle nécessite beaucoup d'interactivité pour des corrections à posteriori.

Le mode vecteur est le plus utilisé en cartographie. Nous supposons dans tout ce qui suit que les données sont exprimées dans ce mode. Dans la figure 2, une représentation des deux modes est présentée.

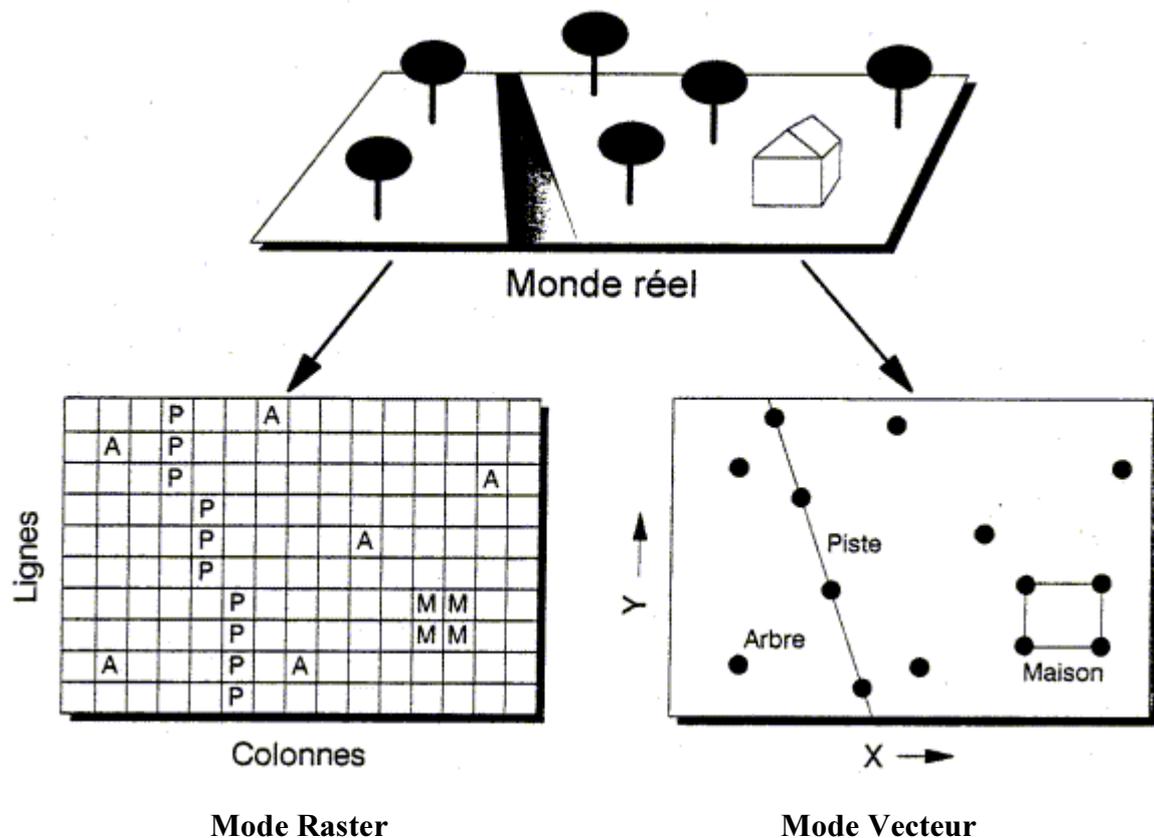


Figure 2 : Mode de représentation des données spatiales dans un SIG

2.3 Organisation des données en couches

Dans un système d'information géographique, plusieurs thèmes peuvent être associés au même territoire. On dit qu'ils ont la même couverture spatiale.

On définit une couche dans un SIG comme étant un ensemble de un ou plusieurs thèmes ayant la même couverture spatiale [Sch et al 96]. On peut donc avoir des couches mono-thème ou multi-thèmes selon les applications SIG considérées.

Par exemple la Figure 3 montre les thèmes: hydrographie, végétation, topographie, réseau routier et village partagent le même territoire d'une commune. Bien que différents par leur mode de saisie (méthode, précision, échelle,..) et par la fréquence de leur mise à jour (parfois de façon séparée), pour des raisons d'analyse spatiale, ces thèmes peuvent être associés, non seulement par voie de leur affichage à l'écran, mais également à l'intérieur de la base de données.

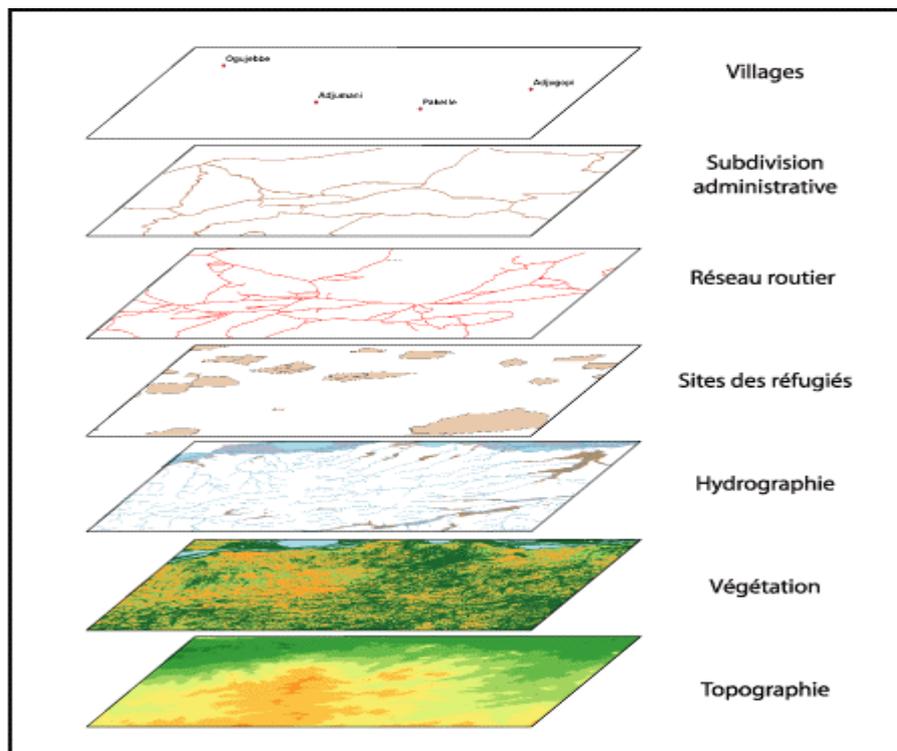


Figure 3 : Organisation des données en couches

Le choix du nombre de couches ainsi que celui des thèmes à associer dans une couche sera souvent un compromis entre efficacité lors de l'interrogation et difficulté de construction et d'évolution de la couche. Il est clair qu'il ne faut pas mettre ensemble tous les thèmes dans une seule couche. Des thèmes consultés ensemble doivent constituer une couche. Mais une couche comportant trop de thèmes est illisible à l'écran et prend trop de temps à créer et à mettre à jour, voire à consulter.

2.4 Représentation de la géométrie d'une couche

Pour la représentation de la géométrie d'une couche, il existe trois modèles très courants et largement connus. La différence principale entre ces modèles, et qui est l'élément déterminant leur classification, réside dans la richesse des relations spatiales entre les objets de la couche que l'on désire représenter.

En effet, dans le premier modèle appelé "**spaghetti**", aucune relation topologique n'est représentée, que ce soit entre objets de même thème ou entre objets de thèmes différents. Dans le deuxième modèle appelé "**Réseau**", les relations entre objets linéaires et entre lignes et points sont représentés. Par contre, dans le troisième modèle appelé "**topologique**", toutes les relations spatiales entre objets sont représentées (relations entre lignes, lignes et points, zones et lignes, zones et points).

- **Le modèle spaghetti:** Dans ce modèle, une couche est composée d'un ensemble quelconque de points, de lignes et de zones(Figure4). Un point est décrit par ses coordonnées. Un arc est décrit par une liste de coordonnées, celles de ses sommets. Un polygone est aussi décrit par la liste des coordonnées de ses sommets.

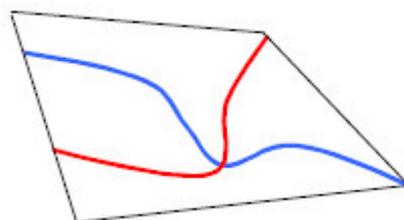


Figure 4 : Mode spaghetti

Il n'existe aucune distinction entre un point isolé, une extrémité d'arc ou un sommet quelconque d'arc ou de polygone. Deux lignes quelconques peuvent se couper, tout comme deux polygones quelconques peuvent se chevaucher.

Ainsi, il n'existe aucun moyen de savoir si deux objets partagent un point ou bien un arc (connexité, adjacence), sauf en comparant deux à deux les valeurs des coordonnées de tous les points. La grande redondance dans cette structure rend les opérations de mises à jour très longues et délicates car elles nécessitent le parcours exhaustif de tous les objets.

- **Le modèle réseau:** Le point dans ce modèle est remplacé par la notion de *nœud*. Un nœud peut être isolé ou bien l'une des extrémités d'un arc. Les arcs sont alors décrits par leurs nœuds extrémités et les coordonnées des sommets intermédiaires. Le nœud permet donc la description de la topologie d'un réseau. Il permet ainsi des opérations topologiques telles que les tests de connexité de deux lignes aussi bien que les opérations de calcul réseau tel que le calcul du plus court chemin ou itinéraire.

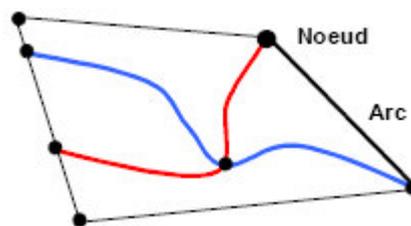


Figure 5 : Mode Réseau

Néanmoins, un polygone est toujours décrit par la liste des coordonnées de ses sommets. La topologie liée aux zones n'est pas explicitement représentée. De même, comme c'est le cas dans le modèle spaghetti, les arcs peuvent se croiser sans que leur intersection ne soit enregistrée. Les polygones peuvent aussi se chevaucher.

- **Le modèle topologique:** Ce modèle, comparativement aux deux premiers, permet une description très riche de la topologie d'une couche. Outre le nœud et l'arc, ce modèle associe à chaque polygone un point intérieur appelé *centroïde* répertorié comme un nœud.

Nœud, arc et polygone sont associés à un graphe planaire. Le graphe est défini comme suit: à toute extrémité d'arc correspond un nœud du graphe; à tout arc dans la couche correspond une arête du graphe. Chaque arc orienté possède donc une face droite et une face gauche.

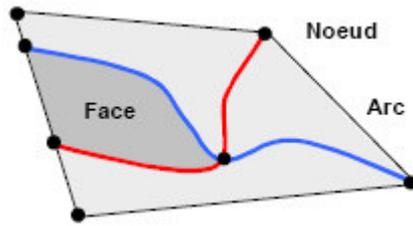


Figure 6 : Mode topologique

Ainsi toutes les intersections sont comptabilisées, même si un tel nœud d'intersection n'a aucune signification et ne correspond à aucun objet géographique. De même, deux polygones ne peuvent se chevaucher, sauf si leur intersection est explicitement calculée.

On obtient ainsi une répartition du plan en polygones, tous répertoriés. A la création de la couche, toutes les intersections des objets doivent être calculées. Chaque nouvel objet introduit dans la couche nécessite un re-calcul de toutes les intersections.

Relativement aux deux premiers modèles, une telle structure présente beaucoup d'avantages dont principalement la non redondance des données (tel que c'est le cas dans le modèle spaghetti), le maintien efficace de la cohérence des objets d'une couche (lorsqu'un point ou une ligne est déplacée, la répercussion de la mise à jour a lieu rapidement, sans risque d'erreur, pour tous les points affectés) ainsi que les opérations d'analyse spatiale grâce aux relations topologiques existantes entre les objets.

3 La généralisation

La carte est le support idéal permettant la représentation de divers phénomènes (économiques, politiques, physiques, démographiques,...) sur fond de représentation abstraite de l'espace. Le mécanisme d'abstraction d'une partie des éléments constituant l'espace réel est nommé "généralisation" (figure7).

On peut effectuer plusieurs généralisations successives, ce qui permet à partir d'une carte donnée de dériver plusieurs cartes généralisées. Toute carte ainsi fabriquée est toujours une représentation abstraite de l'espace réel. La généralisation existe donc depuis que l'on dessine des cartes.



Carte à 1 : 25 000

Carte à 1 : 50 000

Figure 7 : Exemple de réduction d'échelle

Dans cet exemple on constate qu'une réduction d'échelle simple rend la carte illisible. Les évolutions technologiques de ces dernières décennies ont permis le stockage et le traitement de grandes quantités d'informations numériques. Le domaine de la cartographie a donc évolué vers la numérisation de l'information géographique. Des bases de données géographiques sont alors apparues, ainsi que des Systèmes d'Information Géographique (SIG)

pour les gérer. Ces nouveautés ont ouvert de nouvelles perspectives pour l'exploitation de l'information géographique et notamment pour la généralisation.

Traditionnellement, la généralisation comporte deux aspects :

- La généralisation thématique qui permet de sélectionner les données pertinentes vis-à-vis des spécifications de la carte à produire.
- La généralisation cartographique qui permet de les représenter de manière lisible sur la carte.

L'apparition des bases de données comme support des données géographiques permet d'utiliser la généralisation selon deux objectifs différents [Rua 99] :

- La généralisation des bases de données qui est utilisée pour dériver une base de données géographique à partir d'une première base de données plus complète. Le but est de ne conserver que les informations pertinentes pour les applications devant utiliser cette nouvelle base. Cette généralisation peut correspondre à un des deux aspects de la généralisation traditionnelle ou à une combinaison des deux.
- La généralisation cartographique, dont l'objectif reste proche du concept traditionnel. C'est le procédé qui permet de traiter les informations de la base de données pour pouvoir les afficher de manière lisible.

Pour mieux comprendre le problème, nous avons présenté dans la Figure 8 quatre images issues de la numérisation d'une carte au 1 :25 000 et d'une carte au 1 :50 000 de l'IGN, toutes deux représentant la même zone. L'image a) est un extrait de la carte au 1 :25 000 et l'image d) un extrait de celle au 1 : 50 000. La numérisation a fait perdre de la netteté, mais on remarque, malgré tout, que si la même zone a été reproduite dans un espace quatre fois plus petit, la taille des objets n'a, quant à elle, pas beaucoup varié. Par contre, le nombre d'objets a diminué. L'image c) est la réduction de l'image a) jusqu'à l'échelle 1 :50 000. On peut faire deux remarque : on ne voit pas grand chose sur cette image et elle est très différente de l'image d) qui est pourtant l'image de la même zone à la même échelle. L'image d) est beaucoup plus lisible. Cela est dû au fait que l'image d) est une généralisation de l'image a).

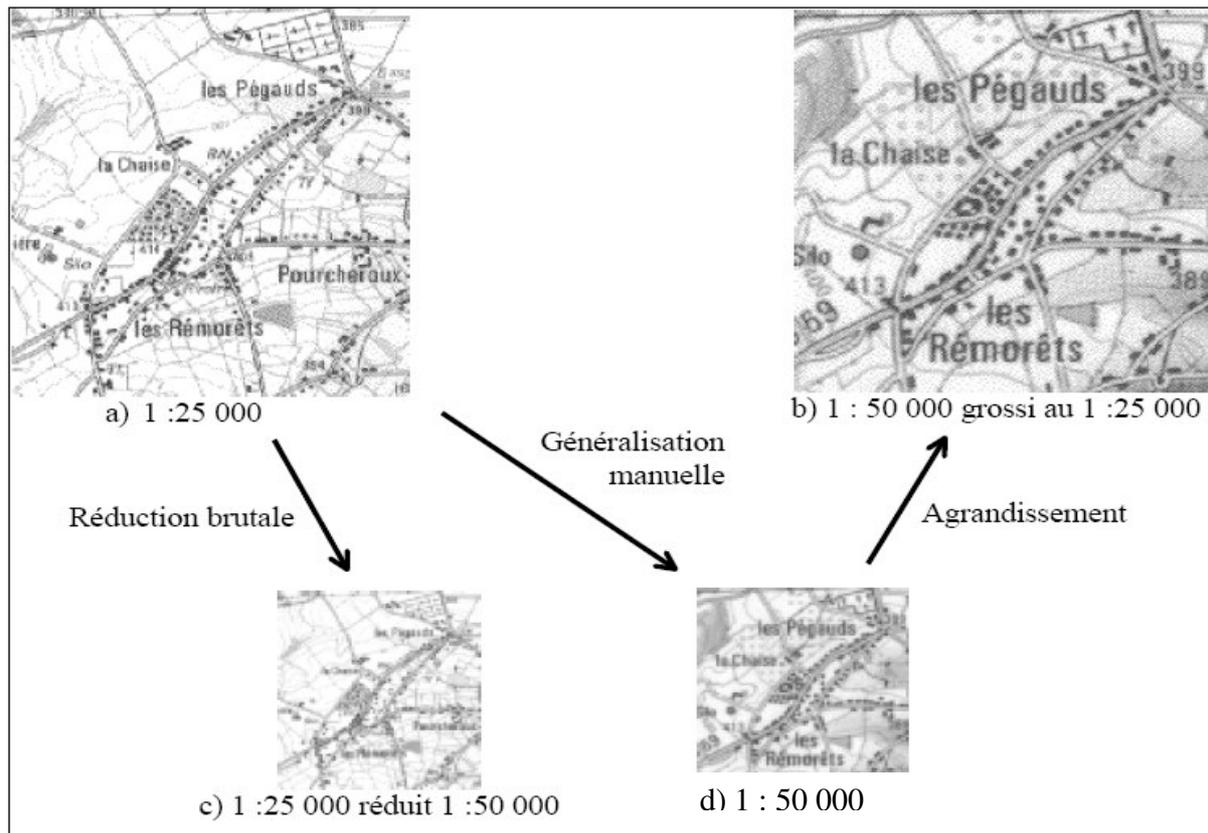


Figure 8 : Généralisation cartographique[Reg98]

Pour voir un peu plus nettement ce qui se passe dans cette phase de généralisation, nous avons agrandi l'image d) jusqu'à l'échelle 1 : 25 000, ce qui a donné l'image b). L'image b) est donc la généralisation de l'image a) ramenée à la même échelle (1 : 25 000). On peut donc faire une comparaison directe entre a) et b) pour voir ce qui se passe lors de la généralisation d'une zone : la taille des symboles est globalement exagérée, le nombre d'objets représentés est diminué. On remarque, et c'est cela qui rend l'automatisation difficile, que l'ensemble des objets conservés présente une répartition semblable à la répartition initiale, les rapports de densités sont maintenus ainsi que les plus importantes différences entre les objets (différence de taille essentiellement).

3.1 La généralisation en cartographie traditionnelle

La généralisation est l'opération qui par sélection, schématisation et harmonisation, reconstitue sur une carte la réalité de la surface représentée dans ses traits essentiels en fonction du but de la carte, de son thème, de son échelle et des particularités de la région cartographique [Cue72].

C'est l'élément clé de la cartographie. Elle est appliquée pour la réduction de la complexité dans un processus de réduction d'échelle, rehaussant l'essentiel tout en supprimant le moins important, en maintenant les relations logiques, non ambiguës entre les objets cartographiques, tout en préservant la qualité esthétique [Wei 95].

L'objectif principal est donc de créer des cartes d'une très haute clarté graphique, de sorte que l'image de la carte soit facilement perçue ainsi que le message que la carte doit délivrer soit clairement compris.

C'est un mécanisme d'abstraction utilisé dans différents cas de figure [Reg 98] :

- **La réduction de l'échelle d'une carte:** l'abstraction porte sur l'ensemble des thèmes d'une carte donnée. Le but est de conserver l'équilibre de la carte, les proportions entre les thèmes représentés, la cohérence de leur agencement, le tout d'une manière lisible. L'abstraction, dans ce cas, porte sur un niveau de détail. Ce niveau est défini en fonction de l'échelle souhaitée et de la densité d'information qui doit apparaître sur la carte. L'échelle finale implique des seuils de lisibilité à respecter. La figure 9 montre les différentes représentation de même monde réel à différentes échelles. Le traitement à effectuer ensuite dépend de la valeur informative du détail. Si elle est faible, le détail est sans importance et donc obsolète à la nouvelle échelle, il peut être détruit. En revanche, s'il est jugé important, il doit être traité pour pouvoir être représenté.



Figure 9 : Exemple de la Généralisation

• **La production d'une carte thématique:** il s'agit de privilégier certains thèmes par rapport à d'autres. L'abstraction porte alors sur les thèmes secondaires qui peuvent être localement ou globalement éliminés pour accentuer la présence des thèmes principaux.

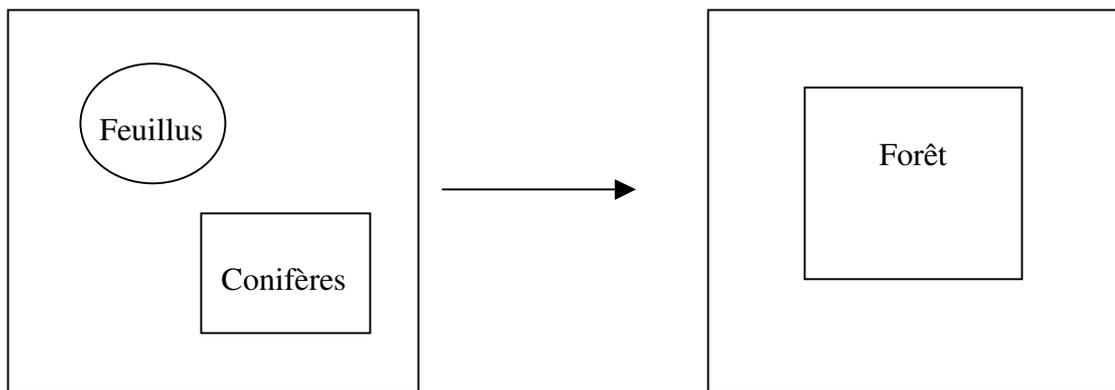


Figure 12 : Exemple de fusion

La figure ci-dessus (Figure 12) montre un exemple d'abstraction de thème, qui est une opération de fusion permettant de ne plus différencier des thèmes proches. Les thèmes 'forêt de feuillus' et 'forêt de conifères' peuvent être regroupés dans un thème 'forêt' dans la nouvelle carte si la distinction entre les deux n'a pas de sens pour l'utilisation ciblée par la carte finale.

En général, ces deux types d'abstraction (échelle et thème) se trouvent combinés, particulièrement lorsque le but est de réduire l'échelle. Dans ce cas, la réduction de l'espace peut entraîner des éliminations d'objets lorsque plusieurs d'entre eux se retrouvent en compétition pour un même emplacement. Il est alors impératif d'avoir des règles de priorité entre les thèmes pour conserver l'information la plus importante.

Outre ces règles de priorités, la mise en œuvre d'un processus de généralisation cartographique doit satisfaire un certain nombre de contraintes dites contraintes de lisibilité [Reg 98]. Ces contraintes expriment (perception, séparation et densité) que doivent satisfaire les objets individuellement ou en groupe pour qu'ils puissent être distingués les uns des autres.

Par ailleurs la vue impose que tout élément de la carte soit perceptible. Il s'agit d'après [Weg 99] de :

- **l'acuité visuelle de discrimination** qui est l'aptitude de l'œil à enregistrer la tâche minimale perceptible. Elle correspond à l'angle qui a pour sommet la pupille de l'œil et dont les côtés s'appuient sur les bords de la tâche minimale perceptible vue à 30 cm environ.

- **l'acuité visuelle d'alignement** qui est l'aptitude de l'œil à apprécier que deux traits sont dans le prolongement l'un de l'autre.

- le **seuil de perception** qui correspond à la dimension minimale d'un élément graphique pour en apprécier la forme.

- le **seuil de séparation** qui correspond à l'écart nécessaire entre deux éléments graphiques voisins pour les isoler. Cette valeur est identique pour les éléments ponctuels et linéaires, mais agrandi dans le cas de lignes parallèles.

- le **seuil de différenciation** qui correspond à l'écart minimal de dimension entre deux éléments de forme identique pour exprimer deux paliers distincts.

3.2 La généralisation dans le contexte numérique

Dans le contexte des systèmes de cartographie numérique et les systèmes d'information géographique, la généralisation a obtenu une signification beaucoup plus large [Wei 95].

En effet, malgré toutes les possibilités offertes aujourd'hui par les systèmes numériques pour la sélection avec souplesse, la composition d'objets et classes d'objets à travers des requêtes, ainsi que la possibilité de zoomer inter-activement et consulter les données à n'importe quel facteur d'échelle, n'outrepasse point les besoins en généralisation et cela pour deux raisons fondamentales :

- 1) Les phénomènes spatiaux et les processus sont généralement dépendants de l'échelle. Idéalement, les données spatiales doivent être analysées et visualisées à l'échelle dans laquelle le phénomène modélisé et les processus sont les plus significatifs et le mieux compris. [Mul et al 95].

- 2) L'abstraction et la réduction de la complexité, éléments clés de la généralisation sont des activités humaines fondamentales et font partie du processus scientifique général tout comme le comportement journalier et la prise de décision [Bra & Wei 88]. Sans aucune concentration sur les aspects essentiels d'un problème donné, nous sommes vite perdus dans les détails encombrants et incapables de comprendre les traits qui dépassent, rendant la communication impossible aux non-cartographes : « *Less is more* » [WEI 95].

Dans le contexte numérique, la généralisation touche directement les données cartographiques et non pas le graphique exclusivement. Ce type de généralisation est souvent appelé « **généralisation par modèle** »¹ ou bien « la généralisation orientée par modèle » (*model oriented generalization*) [MUL91] [GRU95] [WEI 95].

Le but principal de la généralisation par modèle est la réduction contrôlée des données [WEI 95]. Cette dernière peut être souhaitée pour plus d'efficacité de calcul dans les fonctions d'analyse. Elle peut, cependant, servir pour la réduction de la précision d'un jeu de données. Ce besoin est particulièrement utile lors de l'intégration de jeux de données hétérogènes, à résolution et précision différentes, aussi bien que dans le contexte des bases de données multi-résolutions [BUT & DEL 89]. Pendant que la généralisation par modèle peut être utilisée comme phase de pré-traitement à la généralisation cartographique, il est important de noter qu'elle n'est pas orientée vers le graphique, et ne nécessite aucune composante artistique intuitive.

Par rapport à la généralisation de données spatiales pour la visualisation cartographique, les objectifs restent donc plus ou moins les mêmes que la généralisation en cartographie traditionnelle. Cependant, les changements technologiques ont apporté de nouveaux sujets avec de nouveaux besoins, tel que le zoom interactif, la visualisation pour l'analyse exploratoire de données, et l'adaptation du niveau de détails des vues perspectives 3-D à la visualisation des profondeurs

1

Dans la bibliographie française on utilise le terme « généralisation de base de données » pour qualifier le terme anglais « model-oriented generalization ». Cependant nous trouvons ce terme assez restrictif, pour cette raison nous utiliserons la traduction sus-citée.

3.3 Mise en œuvre de la généralisation automatique

Tous les travaux de recherches et développement en matière de généralisation visent l'automatisation complète et totale du processus. L'objectif final est donc l'obtention d'un système complètement automatisé pouvant dériver une base de donnée (ou une carte) à une certaine résolution à partir d'une autre base (ou carte) à résolution plus précise.

En dépit des résultats obtenus par la définition de modèles de généralisation, d'algorithmes sophistiqués et de puissants opérateurs, toutes les tentatives d'automatisation ont vainement abouti à des solutions interactives. En effet, outre l'aspect procédural et séquentiel d'un processus de généralisation, la vision globale ainsi que l'esprit d'analyse et de compréhension des phénomènes géographiques du terrain, que met en œuvre le cartographe pour décider d'une généralisation, introduit une certaine subjectivité dans la prise de décision qui reste très difficile à formaliser.

Jusqu'à une époque assez récente, la généralisation cartographique a été pratiquée, de façon quasi-exclusive par des cartographes qui l'ont apprise de leurs tutelles, par l'exemple et l'intuition, de façon rigoureuse, mais pas nécessairement formalisée. Pratiquée, principalement dans les institutions publiques et les offices d'édition cartographiques, chaque organisation avait tendance à avoir ses propres procédures, standards, directives et esthétiques. Cette absence de vision commune, introduit d'autres formes de complexité dans la tâche.

Ainsi le problème d'automatisation du processus de généralisation est toujours un sujet d'actualité et un domaine où la recherche est très active. Il n'existe donc, à ce jour que des solutions partielles basées sur des systèmes semi-automatiques, laissant une grande part du travail à l'opérateur.

Par conséquent, sachant les principaux objectifs de la généralisation dans le contexte numérique, il n'est pas surprenant que la fonctionnalité de la généralisation peut être considérée comme étant l'un des plus sérieux obstacles à l'utilisation flexible et raisonnable des données spatiales dans les SIG, parce que cela génère plusieurs conséquences négatives.

Dû à l'absence de fonctions de changement d'échelle, les projets pratiques exigeant des échelles multiples trouvent leur solution en la construction de plusieurs bases de données séparées à des échelles fixées, réduisant ainsi la flexibilité de l'utilisation des données. De

cette approche, il se déduit invariablement des redondances dans la collecte de données et par conséquent une augmentation des coûts et délais. Ainsi, lorsqu'une base de données à niveaux d'échelles multiples, mais séparées, est mise à jour, des imprécisions et incohérences sont facilement introduites.

La somme de toutes ces contraintes, rajoutée au fait que plusieurs organisations possèdent aujourd'hui de très larges et complexes bases de données qu'ils aspirent utiliser pour une large variété de projets, a conduit à un intéressement significatif dans la recherche en généralisation, dont nous décrivons succinctement l'historique et les domaines d'intérêt actuels.

Dans ce qui précède, nous avons montré la nécessité absolue d'une simplification du contenu de la carte après une réduction importante de l'échelle.

Le processus de généralisation comprend plusieurs opérations pouvant être réparties en trois grands groupes : la généralisation graphique, la généralisation conceptuelle et le déplacement.

Dans ce qui suit, nous décrivons brièvement ces opérations et les illustreront à l'aide d'un exemple typique.

- La généralisation graphique (ou structurale) comprend les opérations qui permettent de simplifier la représentation graphique des objets, sans devoir ajouter un autre symbole dans la légende.
- La généralisation conceptuelle comprend les opérations qui modifient la représentation cartographique des objets et pour lesquelles on doit donc ajouter un autre symbole dans la légende.
- Le déplacement comprend les opérations de déformation, d'exagération et de déplacement.

3.4 La généralisation graphique

3.4.1 La sélection

Opérer une sélection signifie ne pas garder tous les éléments d'une information donnée, mais supprimer ceux qui sont moins importants. L'importance d'un élément peut dépendre de plusieurs aspects (longueur, superficie, fonctionnalité).

- Dans un réseau hydrographique on supprime, par exemple, les petits sous-affluents.

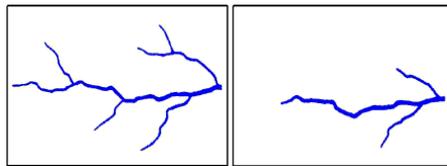


Figure 10 : Généralisation graphique d'un réseau Hydrographique

- Pour la végétation on utilise, par exemple, un critère de surface. En dessous d'un seuil minimum, la végétation n'est plus représentée.

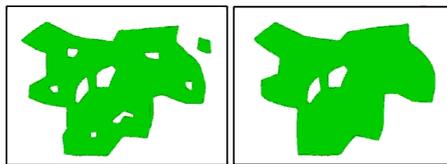


Figure 11 : Généralisation d'une surface de végétation

- Pour la représentation de l'habitat, on opère une sévère sélection qui doit cependant révéler le plus objectivement possible le type d'occupation du sol (généralisation structurale).

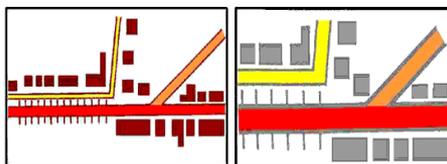


Figure 12 : Généralisation du bâti

3.4.2 La simplification

On simplifie la représentation graphique en réduisant la sinuosité d'un élément linéaire, en simplifiant les contours capricieux d'une surface.

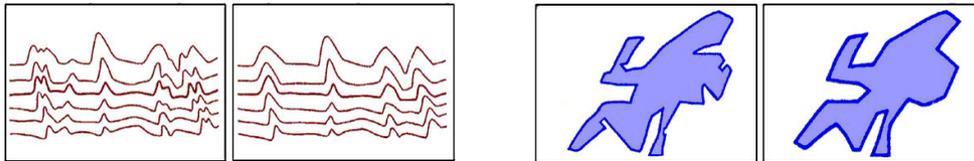


Figure 13 : Simplification

3.4.3 Le regroupement

On regroupe une série d'objets assez petits qui forment un ensemble et qui, après réduction de l'échelle, ne sont plus discernables séparément.

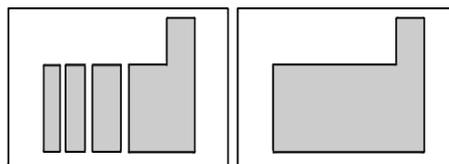


Figure 14 : Regroupement

3.5 La généralisation conceptuelle

3.5.1 La symbolisation

On modifie le type de représentation géométrique d'un objet en utilisant un autre symbole ou signe conventionnel.

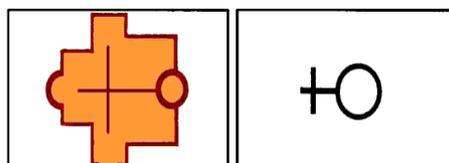


Figure 15 : Symbolisation

3.5.2 La classification

On regroupe différents objets dans de nouvelles classes d'objets. Un exemple typique est le regroupement de différents types de végétation dans une classe plus générale.

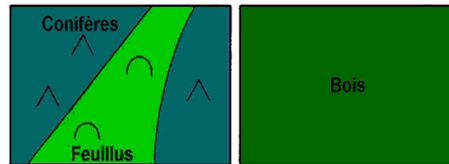


Figure 16 : Classification

3.6 Le déplacement

3.6.1 déformation, exagération

On agrandit le symbole pour augmenter la lisibilité ou pour donner plus d'importance à l'un ou l'autre objet.

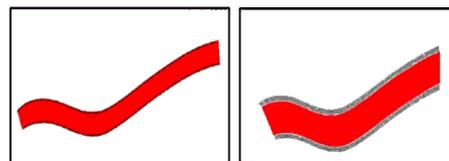


Figure 17 : Déformation, exagération

3.6.2 déplacement

S'il y a assez de place, la représentation d'un objet par un plus grand symbole ne pose pas de problème. En raison de la forte densité de l'information et de la déformation due à l'emploi de symboles surdimensionnés, on est obligé de modifier la situation géographique (position) de certains objets.

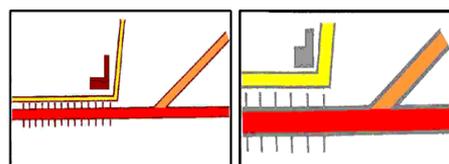


Figure 18 : Déplacement

La règle veut que l'on laisse les objets autant que possible à leur place. Si le déplacement de certains objets est malgré tout nécessaire, il se fera suivant un ordre de priorité tel que la lisibilité de la carte.

4 Etat de la recherche en généralisation

La généralisation est devenue un domaine de recherche à part entière avec ses propres chercheurs, ses groupes de travail, ses meetings, ses conférences et ses congrès. Nous citons à titre d'exemple le groupe de travail sur la généralisation *WGMG/ICA* qui se réunit une fois par an au minimum pour présenter, discuter coordonner et orienter les travaux de recherche en la matière.

Durant les années 1960 à 70, la recherche s'est concentrée sur le développement de règles géométriques et solutions algorithmiques, tel que la dimension fractale d'objets cartographiques, contraintes numériques sur les symboles (par exemple la dépendance de l'échelle de la taille minimale, des angles, des distances, et des surfaces) les relations entre symboles (par exemple la distance minimale entre symboles voisins), la sélection d'objets, filtrage de données vectorielles avec l'algorithme de "Douglas-Peucker " ou ses variantes, les filtres passe-haut et/ou passe-bas de modèle numérique de terrain sous le format raster, basés sur les techniques de traitement d'image, les fonctions splines pour le lissage de courbes, l'accentuation des contours des surfaces raster, et les algorithmes de déplacement d'objets.

De 1980 à 1990, l'intérêt a été porté sur des processus de généralisation de plus haut niveau, moins mécaniques et plus proches du raisonnement humain. Au même moment où plusieurs algorithmes ont été implantés dans les SIG comme nouveaux outils, de façon séparée, les utilisateurs ont ressenti le besoin et la nécessité d'acquérir des "méta-connaissances", par exemple, qu'est ce qui est entendu par le terme "simplification de ligne" (est-il une réduction des données ou une réduction de données suivie d'un ajustement ou bien une réduction de données avec lissage basé sur des fonctions d'interpolation ?) Quelles techniques appliquer dans tel contexte, dans quelle séquence les techniques devraient être appliquées et avec quels paramètres ou quelles valeurs de tolérance ?

Les systèmes à base de règles (*Rule-based systems*) étaient les techniques dominantes pour l'acquisition des connaissances partiellement disponibles dans les livres ou les catalogues des conventions cartographiques. Les spécialistes en cartographie ont été interviewés de plusieurs façons.

Toute la communauté des chercheurs dans le domaine s'accorde à qualifier que la recherche académique et industrielle en généralisation, ont souffert d'une période de stagnation à partir des années 1990 jusqu'en 1995. Cette stagnation est Dûe essentiellement au fait que ni les améliorations des algorithmes, et ni l'augmentation des règles n'ont été capables d'aboutir à des solutions fiables, et le rapport coût/bénéfice des systèmes interactifs n'a pas été particulièrement encourageant.

Pour réduire au minimum les problèmes de la représentation multiple et de la généralisation automatique, plusieurs approches visant à combiner la généralisation cartographique et la représentation multiple sont apparues ces dernières années [CEC02; GIM04]. [CEC02] recommande d'employer une base de données contenant deux balances au minimum. Après une demande d'utilisateur, l'échelle la plus appropriée est choisie et raffinée en utilisant le processus de la généralisation s' il est nécessaire [GiMoDig 2004].

Actuellement, la tendance est entre autre orientée vers l'évaluation et la validation ainsi que l'intégration des différents outils développés pour permettre le contrôle qualité, la transmission des mises à jour dans les bases de données géographiques, et l'introduction de modèles de généralisation pour la construction des bases de données multi-échelle [SAL 99].

Récemment, en cartographie, des méthodes sont étudiées et développées qui visent l'identification des structures importantes qui sont nécessaires comme base pour la généralisation tels que le parallélisme et l'arrangement linéaire [CHR02] [AND &all.02] [NEU &all.04]. En outre, il y a des approches qui essayent de séparer des processus de généralisation liés à différents objets dans différents niveaux hiérarchiques, par exemple en définissant les modules de généralisation qui peuvent être manipulés indépendamment [KIL &all.95]. Une première tentative de modéliser explicitement ces structures a été faite dans le projet d'AGENT, où différents niveaux hiérarchiques des objets ont été indiqués qui peuvent agir indépendamment avec un comportement consacré spécifique [LAMI99].

4.1 Modèle de généralisation

On appelle **modèle de généralisation** un ensemble de procédures et d'informations génériques en relation pour généraliser une base de données géographique. Les acteurs du modèle sont les données géographiques à généraliser, les procédures ainsi que les spécifications de généralisation. L'enjeu d'un modèle de généralisation est d'intégrer ces connaissances incomplètes et imparfaites afin d'obtenir un résultat de qualité optimale (c'est à dire l'ensemble des propriétés et caractéristiques qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites) [Rua 99].

Dans la littérature on trouve plusieurs modèles qui sont proposés. Parmi ces modèles, certains se sont concentrés sur la modélisation de l'information et d'autres sur la dynamique du système.

Le modèle le plus complet et le plus référencé est celui qui a été proposé par Robert Mc Master et Stuart Shea [MC M & SHE 92]. Il est basé sur une approche philosophique de la généralisation numérique. Dans ce modèle, le processus de généralisation est décomposé en trois zones opérationnelles (Figure 20):

1. Considération des objectifs philosophiques du "pourquoi" généraliser : "Why"
2. Evaluation cartographique indiquant "quand" faut-il généraliser : "When"
3. Sélection des transformations spatiales et attributaires appropriées donnant les techniques du "comment" généraliser : "How"

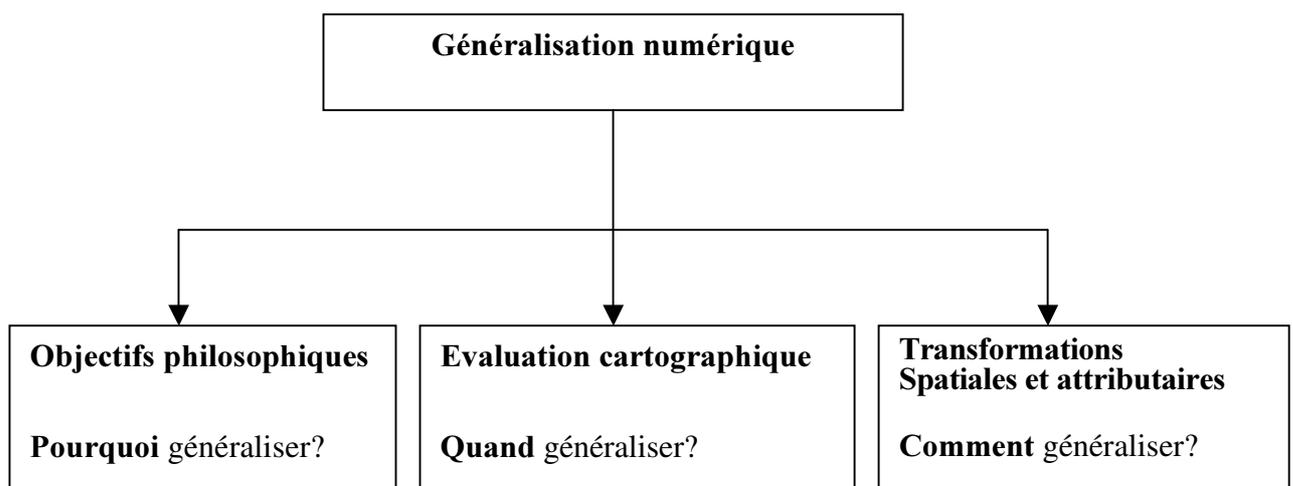


Figure 19 : Les trois composantes critiques de la généralisation

Ce modèle est basé sur des idées fondamentales du processus de généralisation :

1. Identification des objectifs permettant de mieux décrire les spécifications de chaque généralisation.
2. Séparation entre les objectifs et évaluation 'cartométrique' : Il y'a un besoin de traduction des spécifications en termes de 'conditions' qui permettent de savoir quand (sinon où) une opération de généralisation doit avoir lieu.
3. Les 'conditions' de généralisation utilisent un certain nombre de 'mesures spatiales appropriées'.
4. Les conditions géométriques permettent le choix des méthodes adaptées par le 'contrôle' des transformations qui choisit une opération, un algorithme et ses valeurs paramétriques.

La figure 21 montre le détail des trois zones opérationnelles du ce modèle.

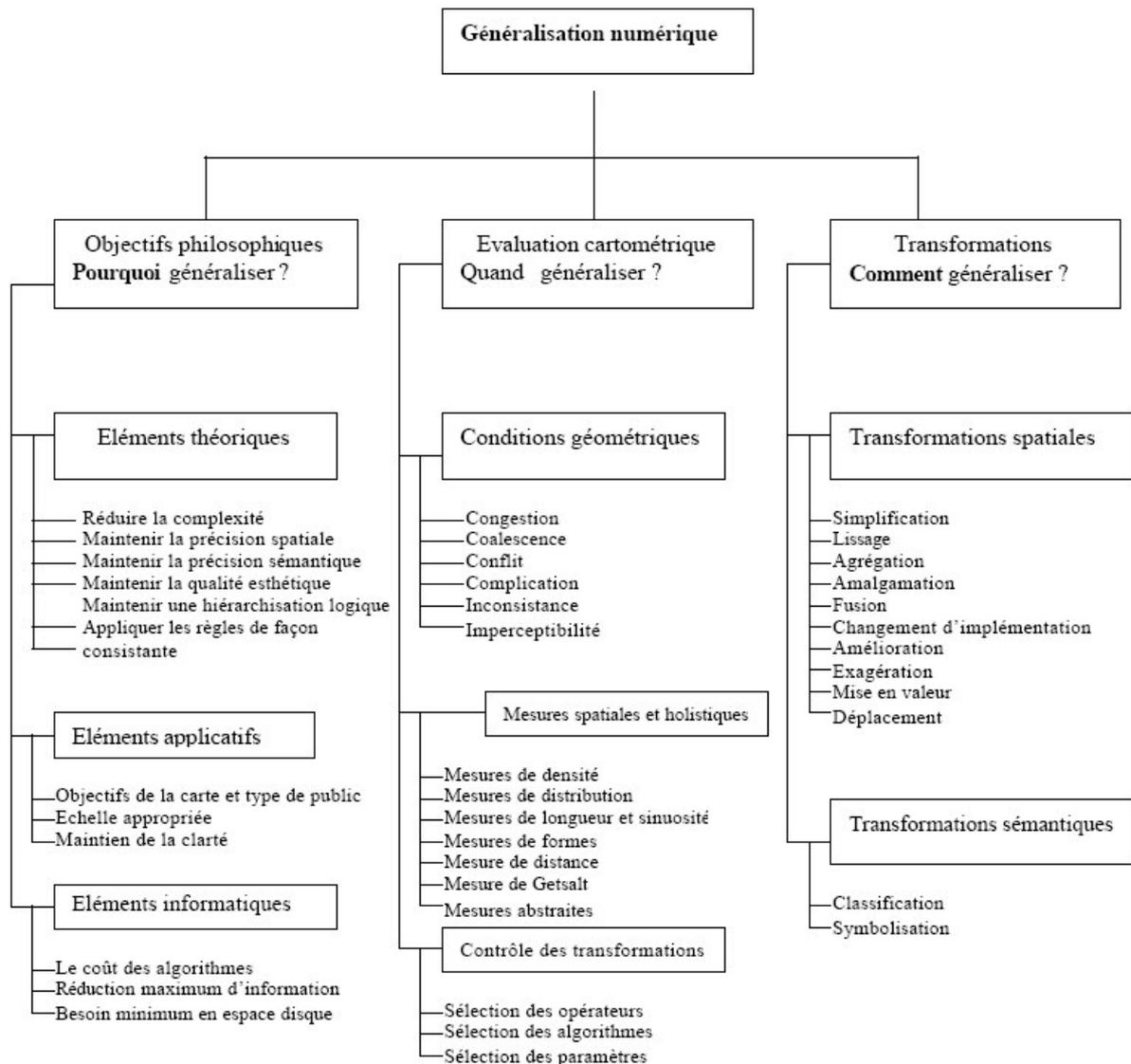


Figure 20 : Modèle de MC Master et Shea

Ce modèle est le plus utilisé actuellement dans la mise en œuvre des logiciels semi-automatiques et/ou interactifs de la généralisation numérique. Tout comme il a inspiré tous les autres travaux de recherches en généralisation notamment dans la détection de conflits, le développement d'outils de mesures pour les qualifier et le besoin de disposer d'un outil intégrant ces informations pour choisir la transformation à réaliser. Parmi les travaux les plus récents, on peut citer celui de Anne Ruas du laboratoire *COGIT/IGN* - France, qui a introduit la notion de contraintes et d'autonomie [Ruas 99].

6 Représentation Multiple

Les systèmes d'informations géographiques (SIG) sont utilisés pour intégrer, gérer et diffuser des données à référence spatiale. Une des applications principales de ces logiciels est de permettre une représentation cartographique des territoires. Les données intégrées, de tels systèmes, peuvent être issues de l'exploitation de différents types de technologies d'acquisition tels que des levées topographiques, GPS, images aériennes et satellitaires, etc. Elles sont produites à une certaine résolution temporelle ou spatiale (pouvant être la résolution de l'appareil prenant les mesures ou la résolution des pixels dans le cas d'images ou de photographies numériques).

Lorsqu'un organisme produit une carte à une échelle donnée et qu'il désire par la suite produire une seconde carte, du même territoire, à une échelle plus petite, deux possibilités lui sont offertes:

- Il peut aller recueillir de nouvelles données sur le terrain, engendrant de ce fait des dépenses considérables ou bien,
- Utiliser le jeu de données initial pour l'élaboration de la nouvelle carte.

La deuxième solution est évidemment la plus économique en coûts et délais de réalisation. Cependant, la carte désirée ayant une échelle plus petite, les objets représentés sur la première carte deviennent plus denses sur la seconde, rendant la lisibilité beaucoup plus difficile. Ainsi, pour palier à ce problème, différentes méthodes ont été mises au point, destinées à simplifier les cartes de plus petite échelle. Ces méthodes peuvent consister en de différents filtrages ou modifications des données tels que la suppression des éléments les plus petits, le déplacement d'objets pouvant se chevaucher visuellement, l'agrégation de plusieurs objets semblables, etc.

On obtient ainsi deux jeux de données, à deux échelles distinctes, donnant des représentations différentes d'un même espace terrain. Car, non seulement on distingue, à grande échelle, plus d'objets par rapport à la première (par exemple les bâtiments, le réseau routier secondaire...,etc.) mais de plus, la caractérisation graphique des objets communs aux deux cartes va dans le sens d'une simplification avec la diminution de l'échelle. Une ville pourra être ainsi représentée par une surface ou par un point tandis que la légende sera plus ou moins détaillée selon le niveau d'échelle considéré.



Figure 21 : Variation de la représentation d'une agglomération en fonction de l'échelle

Les raisons de ces changements de représentation tiennent bien entendu à des facteurs concrets : le rapport plus ou moins grand entre la taille d'une carte et la taille du terrain qu'elle représente influe directement sur la précision du rendu cartographique envisageable. Dans la figure 22, on remarque les trois différentes représentation d'une même zone urbaine d'une échelle à une autre. Pour D'autres facteurs plus subtils peuvent mener à effectuer de tels changements de représentation : cela peut être notamment la volonté d'obtenir une vision plus "abstraite" d'un ensemble d'informations, dans le but par exemple d'en éliminer les aspects spécifiques, aléatoires et secondaires tout en mettant en valeur des caractéristiques plus générales.

Le rôle de filtre tenu par l'échelle s'étend au-delà d'une problématique restreinte à la représentation graphique de l'information. Il aboutit à la notion très générale de niveau d'abstraction conditionnant la représentation des données spatiales [Wei 95].

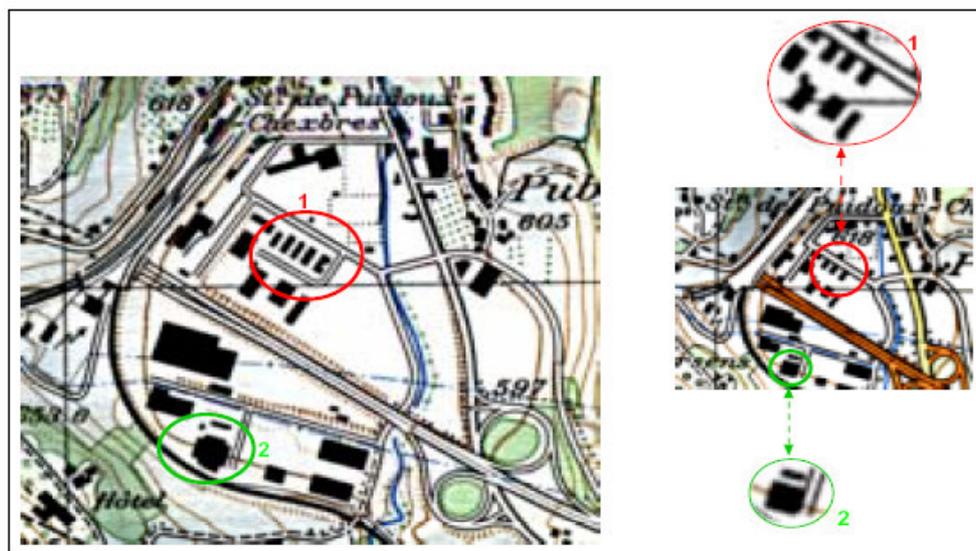


Figure 22 : Deux représentations selon des niveaux de détail différents [VAN01]

Dans l'exemple de la figure 23, la carte à gauche est plus détaillée que celle à droite, certains objets (bâtiments, routes) dans les deux zones 1 et 2 ne sont plus représentés.

Ainsi, à échelles différentes, les mêmes informations sont représentées différemment (pas seulement agrandies ou réduites) et cela, pour les raisons suivantes :

- Les conventions de représentation qui peuvent changer d'une échelle à une autre,
- Des objets qui peuvent apparaître/disparaître ou être assemblés/désassemblés, parce que leur dimension les rend visibles/invisibles selon l'échelle choisie,
- La forme des objets visibles peut être modifiée (les objets sont représentés plus simplement ou plus précisément),
- Les informations ne sont pas disponibles à l'échelle demandée

D'un autre côté, producteur et utilisateur de cartes ont souvent des points de vue différents du monde réel, et utilisent la même information spatiale selon des approches complètement différentes, menant à autant de variétés de représentation d'un même espace terrain que de variétés d'utilisateurs. Nous illustrons la différence des point de vue par l'exemple suivant :

- En prenant le cas du réseau routier (figure 24), le cartographe aura pour principal souci d'obtenir une cartographie cohérente du réseau routier au sein d'un environnement géographique plus général. Il sera donc attentif aux positions relatives des différentes routes, à leur parcours, ainsi qu'aux attributs graphiques permettant d'identifier et de différencier les catégories. Pour le cartographe, une route est donc un objet caractérisé par des propriétés géométriques, topologiques et une classification permettant de répartir les routes dans différentes catégories.



Figure 23 : Représentation cartographique d'une route

Au-delà de cet exemple sur le réseau routier, le point de vue de l'utilisateur, plus communément appelé '**Thème**', conduit à une représentation multi-thématique. Ainsi, la même parcelle de terrain peut subir des activités d'analyse, de planification et de prévision de la part de l'administration urbaine, des écologistes, des sociologues, des botanistes, des zoologistes..., etc.

6.1 Problématique de la représentation multiple

Le terme de représentation multiple s'applique d'une manière générale à toute situation où coexistent plusieurs représentations différentes d'une même information. Il s'agit d'une problématique très générale qui dépasse largement le seul cadre des applications spatiales [SCH et al 96].

La multi-représentation occupe dans les systèmes d'information géographique (SIG) une place particulière en raison des facteurs suivants [ALA & all01] :

- L'augmentation considérable du volume des données géographiques disponibles représentées sous diverses formes et générées à partir de sources très variées,
- Le partage et l'échange de données entre applications qui traitent des éléments d'un espace géographique commun,
- La complexité des données géographiques qui reflète l'extrême complexité du monde réel,
- La résolution ou l'échelle qui agit sur le contenu et la caractérisation des données géographiques,
- Les facettes multiples des données géographiques qui traduisent la diversité des besoins des utilisateurs,
- L'évolution et l'aspect dynamique des données géographiques.

Si on se place dans une perspective bases de données, la variation des représentations d'une même information en fonction de l'échelle ou du thème, soulève plusieurs problèmes. L'introduction d'une représentation multiple dans une base de données conduit inévitablement à une redondance (une information est représentée en plusieurs exemplaires, sous une forme qui varie suivant l'échelle et le thème) ainsi qu'à des risques d'incohérence (le même attribut peut ne pas avoir la même valeur dans chaque exemplaire et des niveaux de précision différents peuvent exister pour un même attribut).

De ce fait, la variété des représentations enregistrées dans une base de données pour un objet donné peut s'étendre sur différentes facettes, telles que:

- une géométrie multiple, avec des abstractions géométriques identiques ou différentes caractérisant le même objet dans des contextes différents,
- la coexistence de plusieurs niveaux d'abstraction dans la classification d'un objet qui peut résulter en une représentation simultanée d'objets composés et les composants d'objet,
- la coexistence de plusieurs niveaux d'abstraction dans la description de l'objet qui peut résulter en des attributs qui ont un domaine de valeur hiérarchique.

Les bases de données sont appelées à conserver un ensemble de données cohérent et complètement intégré qui fournit l'information voulue pour les besoins des applications d'une ou plusieurs communautés d'utilisateurs. Ces données représentent un phénomène du monde réel intéressant leurs utilisateurs. Cependant, le monde réel est supposé être unique d'une part, et ces représentations dépendent du thème considéré d'autre part. Par conséquent, différentes applications concernées par des phénomènes du monde réel ayant des points communs, nécessitent normalement des représentations différentes du même phénomène.

Les différences peuvent surgir dans toutes les facettes constituant la représentation :

- quelle est l'information saisie ?
- comment est-elle décrite ?
- comment est-elle organisée (en termes de structure de données) ?
- comment est-elle codifiée ?
- quelles sont les contraintes ? les processus et les règles appliqués ?
- comment est-elle présentée ?
- quelle est la définition spatiale et/ou temporelle associée ?
- etc.

Le passage du modèle conceptuel à la représentation logique dépend du modèle du SGBD utilisé. Des modèles conceptuels initialement différents mènent potentiellement à des représentations logiques très éloignées les unes des autres. La coexistence de plusieurs

représentations dans une base de données pose donc des problèmes très délicats et souvent très difficiles à mettre en œuvre

6.2 Dimensions de la représentation multiple

Nous supposons que le monde réel qui sera représenté dans la base de donnée est composé d'objets, de leur inter-relation et de leurs propriétés statiques et dynamiques (attributs et méthodes). Comme les représentations peuvent varier conformément à différents critères, l'espace de représentation peut être vu comme un espace multidimensionnel (figure 25) où chaque dimension (ou axe) représente un des critères en usage [VAN01].

On distingue généralement :

- **la dimension de la résolution spatiale** : les coordonnées sur cet axe représentent les rangs de la résolution spatiale des représentations.
- **l'observateur ou la dimension du point de vue** : les coordonnées sur cet axe représentent les différents points de vue pour lesquels les représentations ont été élaborées.
- **la dimension de la classification** : les coordonnées sur cet axe représentent les occurrences de l'objet comme membres d'une classe donnée.

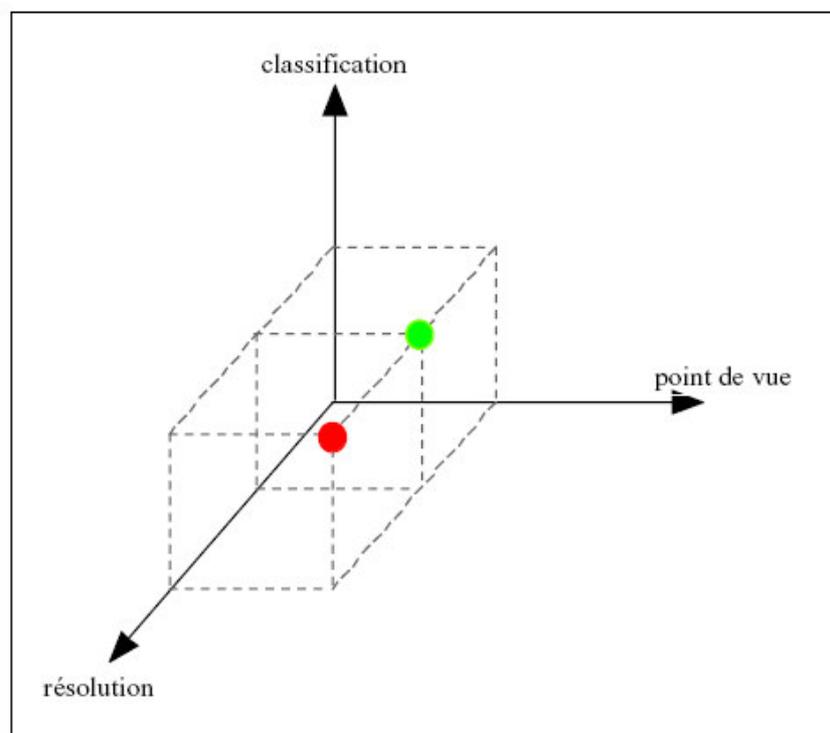


Figure 24 : Représentation tridimensionnelle

Un point de coordonnées (c, v, r) dans cet espace tridimensionnel est la représentation d'un objet comme étant un membre de la population d'une classe d'objets donnée (c), d'après un point de vue donné (v) et à une gamme de résolution donnée (r).

Notons que deux points peuvent avoir des valeurs identiques. Par exemple deux points de vue différents ayant une même résolution.

La représentation 3D peut facilement caractériser des alternatives dans la définition du schéma et la définition de la base de données.

Par exemple : une base de données spatiale mono-résolution ordinaire, consiste à former une base de données avec des représentations situées sur un même plan orthogonal à l'axe de la **résolution**. Une carte standard est composée de représentations sur une seule ligne droite parallèle à l'axe de la **classification**. La position de cette ligne est déterminée par l'échelle de la carte et le **point de vue** cible.

Ainsi, grâce à cette représentation 3D, on peut déduire les différents choix et options de configuration d'une base de données géographiques multi-représentations, dont :

a) Dans la dimension de la résolution, les choix suivants peuvent être trouvés :

chaque objet a une seule représentation qui inclut des géométries multiples et à de multiples représentations interconnectées (une par gamme de résolution). Aussi pour chaque objet, il y a :

- un seul schéma de la base de données qui contient toutes les représentations, (*'single-schema database'*)
- une base de données de multi-schéma (un schéma par gamme de résolution) (*'multiple-schema database'*)
- plusieurs bases de données de mono-schéma (une base de donnée par gamme de résolution), chacune contient des représentations à résolution homogène,
- plusieurs bases de données multi-résolution.

b) Dans la dimension du point de vue, des choix semblables peuvent être identifiés :

- chaque objet a une seule représentation et :

- * toutes les représentations de l'objet sont stockées dans une base de données de mono-schéma, ou bien
- * toutes les représentations de l'objet sont stockées dans une base de données multi-schéma (un schéma par point de vue),
- chaque objet a de multiples représentations interconnectées et il y a :
 - * une base de données de mono-schéma qui stocke toutes les représentations,
 - * une base de données de multi-schéma (un schéma par point de vue)
 - * plusieurs bases de données de mono-schéma (une base de données par point de vue), chacune stockant des représentations qui appartiennent au même point de vue.
 - * Il y a plusieurs bases de données multi-point de vue.

6.2.1 La résolution multiple

Nous avons vu à travers les exemples cités précédemment que les producteurs autant que les utilisateurs de l'information géographique collectent et gèrent, selon leurs besoins, plusieurs représentations (une par gamme d'échelle) de l'espace terrain.

Cependant, bien que le concept d'échelle soit clair lorsqu'il s'agit d'une carte, il n'est pas du tout évident pour la représentation géographique d'un objet dans une base de données.

Dans le domaine des bases de données, l'utilisation du terme "résolution" est plus correcte que celle de "l'échelle". Celle-ci étant le rapport entre la taille d'un objet sur la carte et sa taille correspondante dans le monde réel, la résolution se définit comme étant la taille minimum d'un objet que l'on peut représenter.

Le terme "multi-échelle", généralement utilisé, n'est donc qu'un qualificatif qui exprime la "multi-résolution". L'échelle est un concept largement répandu et plus facilement compris par les utilisateurs des données géographiques.

Il existe deux approches pour l'intégration des objets multi-résolutions, et qui sont brièvement décrites ci-dessous.

- **Un Objet, une représentation multi-résolution** : Pour aller d'une base de données mono-résolution à la multi-résolution, une solution est de permettre à un objet d'avoir de multiples géométries.

Chaque géométrie est qualifiée par sa gamme de résolution relative. Les différentes géométries, autre que les points, sont généralement acquises par des processus séparés de collecte de données ou bien via des processus de dérivation cartographique à partir de cartes plus précises, et doivent être intégrées dans la base de données de façon explicite.

Cependant, la résolution multiple ne se réduit pas aux géométries multiples. La focalisation sur les objets change d'un niveau de résolution à un autre : plus de détails amènent plus d'objets, moins de détails résultent en des objets qui ont été agrégés pour former de nouveaux objets d'un type différent. Les rapports entre objets peuvent changer, en incluant les rapports topologiques. Les attributs thématiques d'objets, et même les valeurs des attributs thématiques peuvent changer [SCH & al. 96]. Une base de données multi-résolutions doit stocker tous les liens nécessaires afin de rapporter un sous-ensemble cohérent de représentations de la base pour chaque utilisateur intéressé par des données à une résolution spécifique (tel que le cas du zoom intelligent).

- **Un objet, plusieurs représentations mono-résolution** : Une façon pour réduire la complexité est de splitter la représentation d'un objet du monde réel en de multiples représentations inter-connectées, chacune matérialisée comme une instance d'objet dans la base de données. La question sur la façon de splitter peut être adressée à l'utilisateur indépendamment et de la perspective du système. D'un côté, les concepteurs de la base de données doivent décider comment les informations seront présentées aux utilisateurs (comment les utilisateurs aimeraient les voir). D'un autre côté, la façon dont les informations sont réellement stockées peut être différente, sachant que le critère ici est la performance du système ou l'autonomie du site, et non pas la convivialité.

6.2.2 Vue multiple

Un point de Vue ("viewpoint"), appelé communément "Vue", est ce qui détermine une représentation donnée, parmi toutes les représentations possibles, pour une "réalité" d'intérêt. Une vue exprime généralement des besoins en informations d'un ensemble donné d'utilisateurs qui présentent une certaine homogénéité dans leurs besoins. La définition d'une vue contient les spécifications de la structure des données (objet, classe, attributs) ainsi que les règles nécessaires à l'utilisation des données (par exemple : les méthodes et les contraintes d'intégrité).

Le fait que différents utilisateurs puissent avoir différentes vues, est connu au tout début dans le champ de la base de donnée. Pour supporter cette diversité, les systèmes autorisent la définition de vues personnalisées au-dessus du schéma global de la base de données.

Cependant, l'ampleur et la flexibilité des mécanismes de définition des vues ont évolué de façon très significative.

6.2.3 Classification multiple

Du fait que la modélisation exprime les règles générales sur le monde d'intérêt, la classification est l'abstraction la plus fondamentale dans un processus de modélisation des données. Elle permet de se débarrasser des détails, et parle en termes de classes d'objets, leurs rapports et les propriétés que nous voulons leur attribuer. [SPA &al. 99]

C'est aussi une abstraction très subjective. Il est possible que la classification d'un même ensemble d'objets change lorsqu'un point de vue différent est pris sur les données. La classification peut changer aussi dans le temps à chaque fois que les objets acquièrent de nouvelles propriétés ou bien les perdent dans leur évolution. Même dans le cas d'un point de vue unique, il peut arriver que l'on ait besoin de classer un objet donné dans de multiples classes, dû au fait que la classification n'est pas nécessairement un partitionnement.

6.3 Nouvelles applications multi-représentation

Un grand nombre d'applications nouvelles peuvent tirer profit des bases de données multi-représentations. Les possibilités offertes par ces bases de données autorisent des applications qui sont coûteuses ou impossibles pour des bases de données mono-représentation. Elles rendent aussi plus naturelle la visualisation des données géographiques, en proposant à l'utilisateur, à chaque instant, la représentation la plus appropriée à son application. Les

bases de données multi-représentations permettent de plus une meilleure manipulation des données issues des différentes représentations. Ainsi, sont rendues possibles, l'analyse conjointe d'un ensemble de phénomènes corrélés (ce qui peut difficilement être décrit dans la même représentation) et une navigation sans perte d'information entre ces représentations [DEV 97].

Nous présentons ci-dessous trois types d'applications multi-représentations qui ont été réalisées pour différents projets répondant à des besoins aussi variés que spécifiques.

Ces applications répondent aux besoins des utilisateurs en :

- Cartographie électronique
- Analyse
- Navigation

6.3.1 Cartographie électronique multi-représentation

Sur une carte papier, le volume d'information et l'emprise de la carte sont directement conditionnés par l'échelle qui est fixe. Le nombre de thèmes et leurs degrés de détails sont donc limités pour produire une carte lisible. Si l'utilisateur veut disposer de plusieurs représentations d'une même zone, il lui faut obligatoirement plusieurs cartes et faire lui-même le rapprochement entre ces cartes.

Ces contraintes sont liées au support papier et doivent être dépassées par les cartes électroniques. Ainsi, plusieurs représentations des mêmes données à des échelles différentes et selon différents thèmes, à des époques distinctes doivent pouvoir être affichées. L'échelle et les thèmes sélectionnés par le système ne doivent donc pas être fixés. Le choix se fera en fonction de critères de sélection cartographique [DEV 97]. Parmi ces critères on peut citer :

- **Les circonstances d'utilisation** : Pour la marine, la classe "feu de navigation" sera sélectionnée uniquement pour la navigation de nuit.
- **La densité d'information de la zone** : Un automobiliste utilisera en ville une carte au 1:10 000 (ou plus grand) et une carte au 1 : 100 000 en campagne.
- **La catégorie de l'utilisateur** : L'échelle d'une carte pour un piéton doit être plus grande que celle pour un automobiliste.

- **L'intérêt de la zone** : les militaires ont besoin d'informations détaillées sur la zone de conflits pour la gestion de la tactique et du terrain et d'informations moins détaillées sur une zone plus large pour la gestion de la logistique et des déplacements.
- **La date désirée** : pour des raisons juridiques, des représentations à des dates différentes doivent être gérées.
- **La distance entre les objets à visualiser** : pour des cartes routières, l'échelle et les thèmes sélectionnés peuvent aussi varier durant l'application.

Si nous utilisons une représentation autour du point A et que nous voulons nous déplacer vers le point B éloigné (figure 26), la démarche intuitive est de changer de représentation pour disposer d'une représentation moins détaillée sur laquelle les points A et B apparaissent ensemble à l'écran. Ensuite il faut revenir sur la première représentation autour de B, afin de disposer à nouveau d'une représentation ayant un niveau de détail suffisant. Cette méthode est plus naturelle et plus rapide que de garder la même représentation et de se déplacer pas à pas vers B.

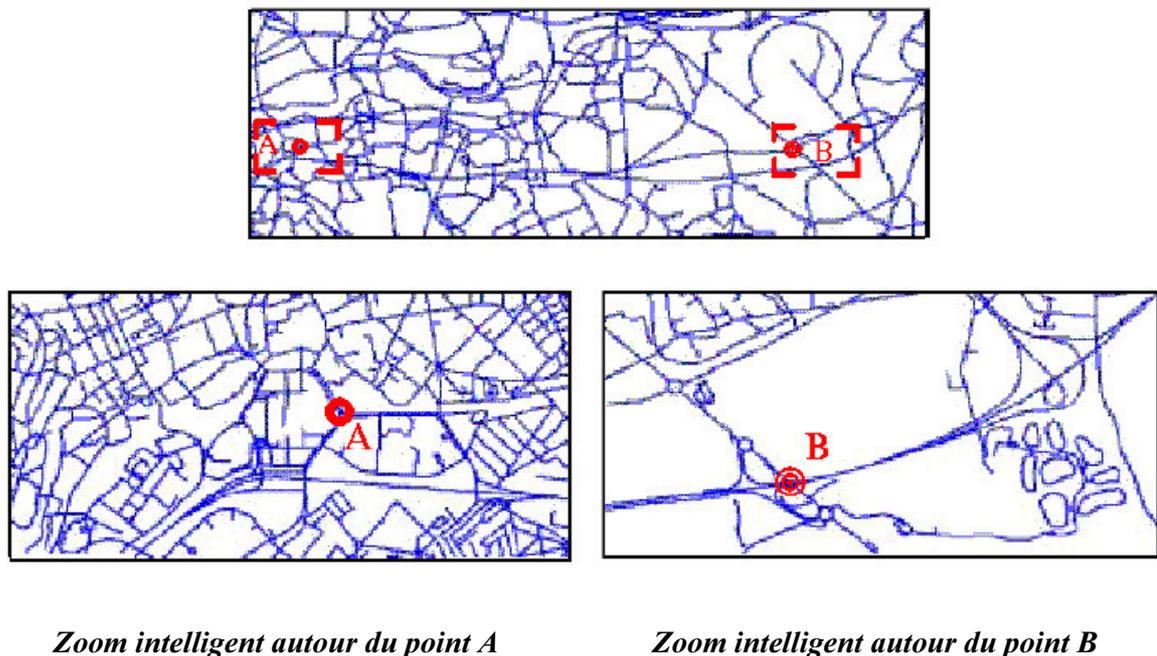


Figure 25 : Déplacement vers un point éloigné en utilisant plusieurs représentations

6.4 Conclusion

La mise en œuvre d'une base de données géographiques s'est toujours avérée une opération très longue et coûteuse, surtout lorsque l'espace terrain représenté est de grande extension (une région, voire un pays). L'utilisation optimale de cette base de donnée est donc l'une des premières préoccupations de ses concepteurs.

Les futurs utilisateurs sont systématiquement consultés afin de cerner leurs besoins et les prendre en compte lors de la phase de modélisation. Or, comme on l'a déjà montré, les utilisateurs n'ont pas forcément une vision identique du monde réel.

Jusqu'à une période récente, l'ultime recours pour toucher le plus grand nombre d'utilisateurs possible, était la mise en œuvre de mécanismes de vues. Or ces derniers ont montré des limites d'utilisation. Par conséquent, les bases de données multi-représentations s'avèrent être la solution optimale, où contrairement aux mécanismes de vues, toutes les représentations figurent de façon explicite dans la base de données.

Les utilisateurs de données cartographiques nécessitant plusieurs niveaux d'échelles verront dans les bases de données multi-échelle la solution la mieux adaptée à leurs applications. D'autant plus, le producteur de cette information sera soulagé des problèmes posés par la gestion et la maintenance de plusieurs bases de données mono-représentation. Cependant, la mise en œuvre d'une base de données multi-échelle pose plusieurs problèmes dont certains restent sans solutions jusqu'à maintenant.

Outre le problème de modélisation de ces représentations, des solutions adéquates doivent être trouvées pour :

- > La transmission automatique des mises à jour à travers les différentes gammes d'échelles présentes dans la base de données. Cette opération fait appel au processus de généralisation qui est toujours un domaine de recherche ouvert et non encore résolu.
- > Les géométries multiples des objets représentés doivent être explicitement décrites et reliées dans la base. L'appariement des données basé sur des méthodes totalement interactives est un processus très lent, fatigant et coûteux. Son automatisation suppose la résolution de tous les conflits (géométriques,

sémantiques et topologiques) qui peuvent apparaître entre les différentes représentations d'un même objet.

L'utilité et la rentabilité des bases de données multi-représentations n'est plus à démontrer et cela justifie les travaux de recherches aussi nombreux que variés dans ce domaine. Les nouvelles applications réalisées avec succès dans ce domaine prouvent leur faisabilité.

Après avoir présenté un état de l'art sur l'information géographique et aussi sur les différentes méthodes utiliser pour l'adaptation des bases de données géographique tels que le processus de la généralisation cartographique et la multi-représentations, nous présentons dans le chapitres suivant notre approche de résolution (informelle et formelle) et un exemple appliqué à ces deux approches.

Chapitre III Approche de résolution

Dans ce chapitre nous présentons notre approche de résolution. D'abord nous analysons les besoins ainsi que les difficultés rencontrés par les spécialistes des sciences humaines et sociales (archéologue, anthropologue, astronomes et archéoastronomes), puis nous proposons les deux approches ; informelle et formelle. Nous présentons un exemple d'application des deux approches pour deux domaines qui sont l'archéologie et l'anthropologie.

1 Approche de résolution

La capacité de décrire une même réalité selon différents points de vue et à des niveaux d'abstraction différents est reconnue depuis de nombreuses années comme une nécessité dans le domaine des bases de données spatiales [VAN 01].

La coexistence de plusieurs représentations au sein d'une même structure de données qui représente la même information spatiale aboutit à une situation de représentation multiple. Une base de données géographique se compose d'un ensemble de données spatiales qui représente une variété de points de vue du monde réel à un instant donné. Le terme spatial se rapporte à la localisation des objets se trouvant dans l'espace géographique. Les objets spatiaux sont des représentations des éléments du monde réel tels que les rivières, pays, routes, etc. Selon le niveau du détail, de tels objets spatiaux peuvent avoir différentes dimensions spatiales et peuvent être représentés par des dispositifs tels qu'un point, une ligne et un polygone, ou la combinaison de ces formes géométriques.

Par exemple, dans le cadre de l'application privilégiée de ce mémoire, nous pouvons remarquer que les menhirs peuvent être représentés par des points, un alignement de menhirs par une ligne et un site archéologique représenté par un polygone.

De plus, chaque objet spatial est décrit par des attributs spatiaux et non spatiaux. Les objets spatiaux se partagent des relations spatiales qui décrivent les propriétés topologiques telles que la connectivité entre les objets, l'orientation, l'adjacence, etc.

La représentation des données spatiales a commencé à émerger comme sujet de recherche dans le cadre des SIG dans les années 80. En effet, la quantité des données spatiales disponibles s'est développée considérablement. En outre, ces données sont disponibles dans différentes procédures, à différentes échelles et elles sont de plus produites par différentes procédures.

Dans ce chapitre, nous présentons une approche de résolution de la multi-représentation dans le domaine des sciences humaines et sociales (SHS) et plus précisément dans trois sous-domaines que nous appelons (3A) ; l'Archéologie, l'Astronomie et l'Anthropologie. Il faut noter qu'une discipline qui a émergé récemment, fait appel à ces trois sous-domaines des SHS : l'Archéoastronomie (elle sera explicitée ultérieurement). Tout d'abord nous recensons les différents besoins des spécialistes des trois sous-domaines (3A) puis nous abordons l'approche informelle de résolution que nous avons développée avant de présenter l'approche formelle que nous avons définie. Nous terminerons par un exemple concret.

2 Analyse des besoins et difficultés

Les difficultés rencontrées par les archéologues, les anthropologues et les astronomes dans l'utilisation des SIG sont liées à la visualisation et la représentation des données spatiales. La première difficulté est de pouvoir représenter et localiser les données (Menhirs, Dolmens) avec un SIG. Ainsi nous avons recensé les difficultés suivantes :

1- Difficulté dans l'abstraction des informations collectées sur une représentation d'un niveau de détail moindre. On peut par exemple représenter un alignement de Menhir par un seul point ce qui entraînera la perte d'information d'où la nécessité de chercher une représentation où toutes les données d'un site archéologique sont représentées ; ceci est un besoin de multi-représentation ou représentation multiple,

2- De ce même exemple, on trouve la nécessité de mémoriser plusieurs valeurs pour le même objet. Ainsi, on trouve un alignement de Menhir représenté par un point dans une représentation à niveau de détail moindre,

3- Dans le même contexte, on trouve des données à plusieurs valeurs aux mêmes attributs sémantiques. Par exemple, on a l'attribut site archéologique qui peut regrouper plusieurs valeurs (Dolmen, Coffres, Menhirs, Maison,...) et à un niveau moins détaillé, on trouve (site funéraires, foyer, etc.

4- Difficulté à représenter des informations spatiales à différents niveaux d'interprétations. Suivant l'interprétation que l'on donne à notre représentation certains objets ne peuvent pas être représentés dans une représentation à un niveau, alors qu'on les trouve dans un autre niveau de détail donné,

5- Difficulté de navigation entre les niveaux de détail d'une même représentation avec ou sans changement d'échelle, ainsi de choisir son niveau de détail de départ. Par exemple, sur la même représentation un archéologue et un anthropologue n'ont pas le même besoin des données pour représenter leur monde réel,

6- Difficulté à représenter des informations spatiales correspondant à différents points de vue, notons que [VAN 01] a constaté que :

1- Différents groupes d'utilisateurs ne travaillent pas nécessairement sur le même sous-ensemble de phénomènes du monde réel et définissent donc des univers du discours différents.

2- Le même phénomène peut être décrit différemment selon le groupe d'utilisateurs. La différence de représentation peut porter sur :

- le choix de concept,
- l'élaboration du type,
- ou l'insertion des valeurs

Nous pouvons en déduire les différentes difficultés rencontrées liées à la problématique du point de vue :

- Difficulté à définir l'étendue de la validité d'une représentation qui varie en fonction des points de vue des groupes d'utilisateurs.

- Difficulté à donner des valeurs différentes pour le même attribut selon le point de vue, les attributs doivent mémoriser des valeurs pour chaque point de vue. Aussi, chaque utilisateur à ses propres besoins spécifiques,

- Un besoin pour l'utilisation d'outils géométriques pour le dessin et l'interconnexion entre les objets, et faire des études géométriques entre les éléments spatiaux d'une représentation,

- Besoin d'avoir la possibilité de permettre à un utilisateur d'effectuer des calculs astronomique associés à des élément spatiaux d'une représentation donnée et de les visualiser, par exemple le calcul de la déclinaison d'un point donné [KHO 03]. Nous

pouvons constater qu'aucun des besoins ou difficultés mis en évidence ne sont satisfaits par les SIG actuels.

Nous proposons donc une approche de résolution permettant de résoudre les difficultés précédentes.

2.1 Approche de résolution informelle

Afin de proposer une solution aux difficultés présentée dans la section 2.1 nous mettons en évidence les notions de niveaux d'abstractions et de domaine de données spatiales. En effet, une définition précise des notions de domaine et de niveaux d'abstraction permettra de proposer une solution adéquate.

Une zone spatiale devra pouvoir donc être visualisée selon différents points de vue et à différents niveaux d'abstraction. A une zone spatiale correspondront donc plusieurs représentations spatiales [KHO04] selon le point de vue de l'utilisateur ou suivant les besoins. La solution que nous préconisons repose sur la définition des notions de niveaux d'abstraction, des notions de points de vues, les notions de fonctions de transfert d'informations entre niveaux et/ou entre représentations.

2.1.1 Niveaux d'abstraction

D'après [VAN 01], toute représentation du monde réel est une description simplifiée du monde réel. La description est simplifiée tout d'abord parce qu'elle ne contient qu'un sous-ensemble des phénomènes du monde réel. Cette description du monde réel, aussi appelée abstraction, peut être plus au moins réductrice en terme d'information; elle possède un certain niveau de détail.

Dans notre travail, nous présentons un objet spatial comme étant un élément spatial élémentaire appartenant à une représentation d'un domaine donné et à un niveau d'abstraction donné. La notion de domaine et la même que la notion de point de vue. Dans notre étude nous nous limiterons aux domaines des Science Humaines et Sociale (SHS) : l'archéologie, l'anthropologie et l'astronomie et donc aussi l'archéoastronomie qui est l'intersection des trois domaines.

Pour les trois domaines identifiés le niveau de détail permet de choisir les données les plus intéressantes à être représentées. La connaissance de ces données nous permet d'analyser

et d'interpréter chaque représentation spécifique à chaque domaine. Ainsi, un niveau de détail regroupe différents objets spatiaux ainsi que leurs propriétés sémantiques, donc on peut dire que nous avons un niveau de détail lié à la sémantique et un niveau de détail lié à la géométrie. Le niveau de détail sémantique sera utilisé le plus souvent dans le domaine Anthropologique.

Pour les bases de données, nous avons tendance à dire qu'elles ne possèdent pas d'échelle parce qu'il n'y a pas aucun problème d'ordre topologique pour représenter l'information. En plus, les données sont stockées en base de données sous format alphanumérique et pas sous forme de représentations géométriques. En effet, le problème de l'échelle se transforme plutôt en problème de niveau de détail sémantique et niveau de détail géométrique.

A partir de la réalité et pour chaque domaine, un niveau de détail peut avoir plusieurs formes de représentation que ce soit sur le plan sémantique ou géométrique. La figure 27 représente comment, à partir d'un schéma du monde réel, on peut avoir plusieurs niveaux de détails, des données réelles sont divisées en plusieurs couches comportant chacune des objets tels que les points qui représentent des Menhirs. On remarque que le réseau hydrologie est décomposé à un niveau moins détaillé en plusieurs objets constituant un ensemble de polygones, points et arcs.

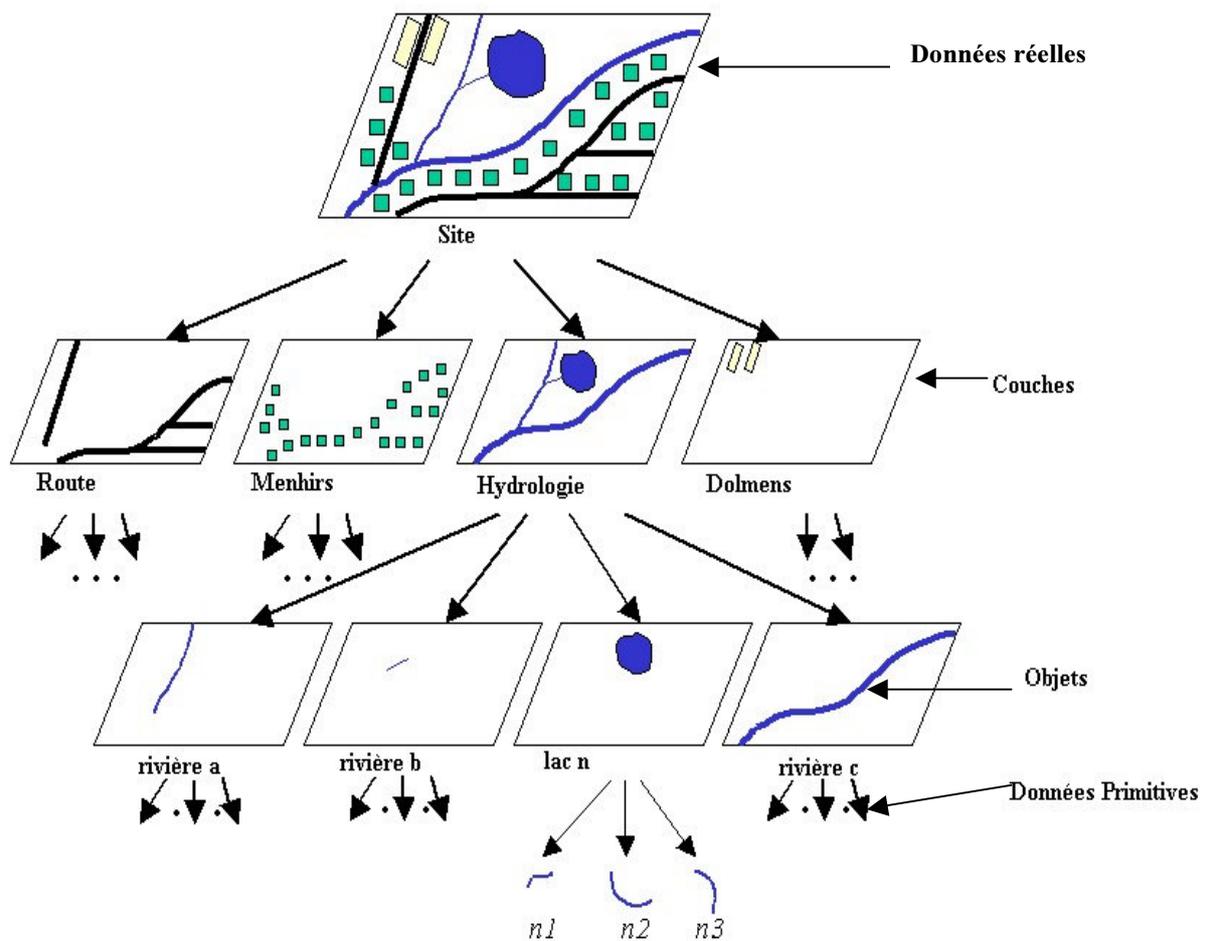


Figure 26 : Niveaux de détail

2.1.2 Point de vue

Dans notre cas d'étude, nous travaillons sur trois groupes d'utilisateurs, chaque groupe a une vision différente du monde réel. Lors de l'étape d'analyse des besoins des ces utilisateurs pour la définition des types d'objets, les liens, les propriétés ainsi que les méthodes seront stockés dans la base de données, Chaque groupe aura sa conception du monde réel, un objet peut être vu sous différents aspects. Par exemple, les archéologues par ses caractéristiques géométriques, son emplacement dans le site alors que l'anthropologue sera intéressé beaucoup plus par les aspects socio-culturels, la proximité d'une rivière, terre agricoles, etc. Dans la figure 28, nous remarquons que pour le même monde réel on a trois différentes représentations suivant la nécessité d'utiliser et de monter les données dont on a besoins.

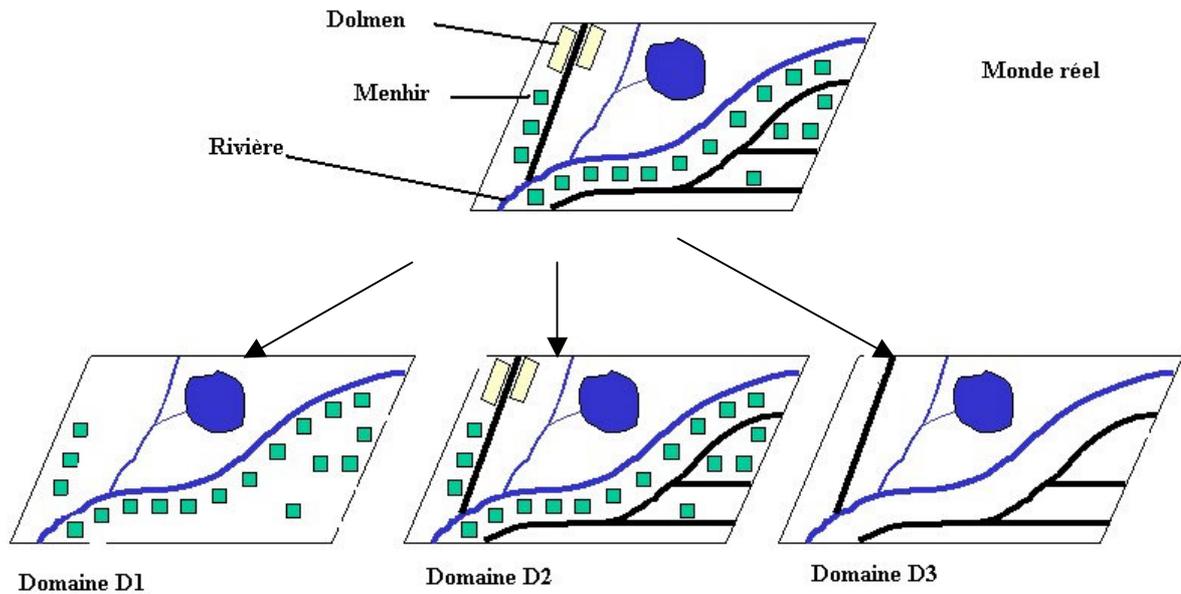


Figure 27 : Représentation multiple d'une rivière a la même échelle

Par exemple pour le domaine D1, on ne représente pas les dolmens, car il n'y a pas besoin de les faire apparaître.

2.1.3 Association entre les niveaux et les représentations

Les représentations peuvent avoir des objets géométriques en commun, soit d'un niveau à un autre ou d'un domaine à un autre. Des objets peuvent être représentés d'une façon identique entre deux représentations différentes. Par exemple, une rivière sera représentée de la même manière dans des domaines différents.

Pour le changement de niveau de détail ou du domaine, les associations entre les représentations doivent être bien formulées pour avoir une meilleure qualité ainsi qu'un seuil de perception à respecter. Les relations qui existent entre les différentes représentations sont soit d'ordre géométrique soit sémantique :

a- Association géométrique

Un objet possède des attributs stockés dans la base de donnée avec des informations sur la géométrie. Un objet représente un phénomène du monde réel; sa représentation ne sera pas la même au fur et à mesure qu'on change de niveau. Un objet peut être un point, une ligne ou un polygone.

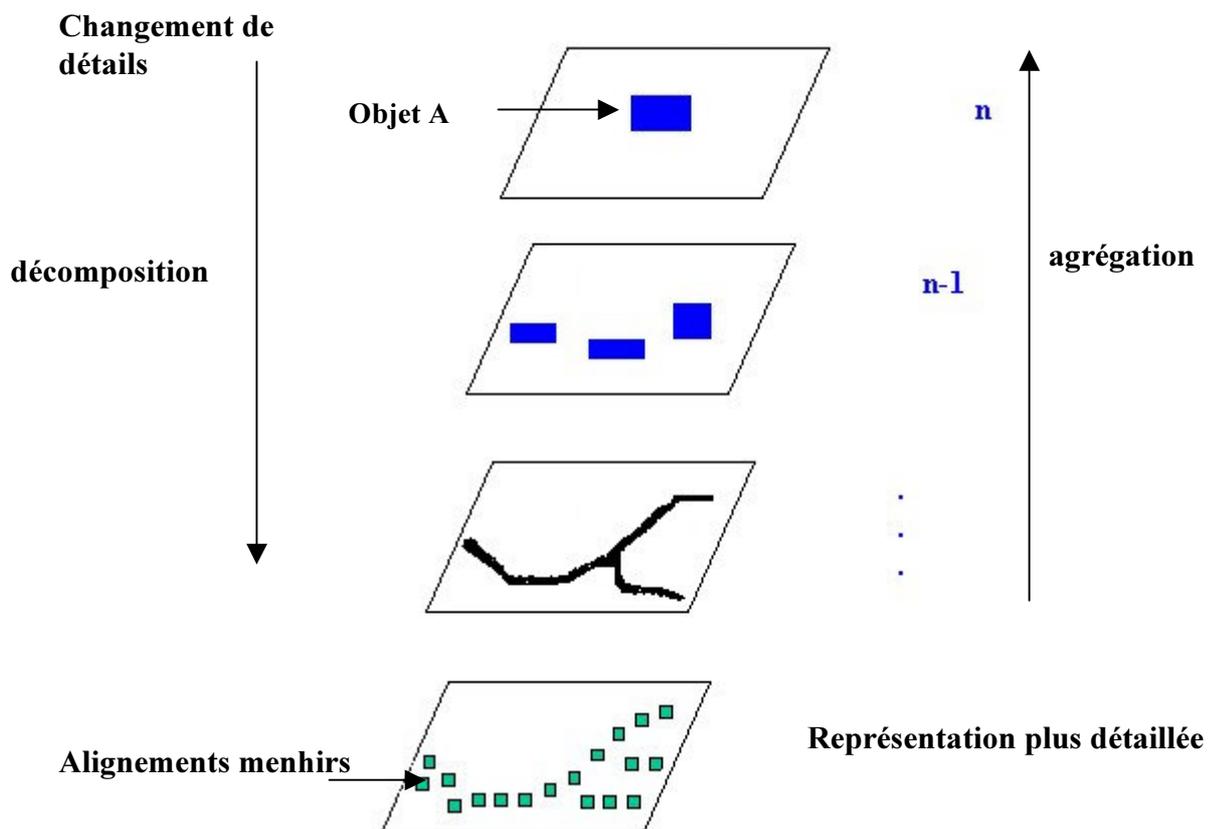


Figure 28 : Représentations des objets suivant les niveaux d'abstraction

Par exemple, dans le domaine archéologique un alignement de Menhirs peut être représenté par un point sur une représentation moins détaillée (Figure 29) et avec plusieurs points sur une représentation plus détaillée.

Pour permettre la navigation entre des représentations de même domaine, des fonctions de transferts entre niveaux (elles seront définies ultérieurement) et des outils de la généralisation (agrégation, décomposition, simplification, etc.) seront définis. Ainsi, chaque représentation aura un niveau de détail spécifique qui caractérise son niveau de détails dans la base de données (n , $n-1$, $n-2$, etc.). Les objets qu'on trouve dans la représentation de niveau n seront traités par les fonctions de transfert pour générer une nouvelle représentation de niveau $n-1$.

b- Association sémantique

Dans une représentation on trouve des objets avec leurs sémantiques et lors de la navigation entre les représentations, ces informations thématiques peuvent changer suivant le niveau de détail à représenter. Par exemple, une représentation qui rapporte les frontières administratives différentes d'un niveau à un autre (Figure 30). Dans cet exemple, chaque niveau d'abstraction sera présenté par une entité spécifique, le niveau global représente le continent. A son tour le continent englobe plusieurs représentations moins généraliste. Pour cela, automatiquement la représentation la plus détaillée générée va hériter de la précédente plusieurs détails. Par exemple le niveau Commune va hériter des objets de sont niveau précédent ; Département tels que les routes ou la végétation (Forêts, etc.).

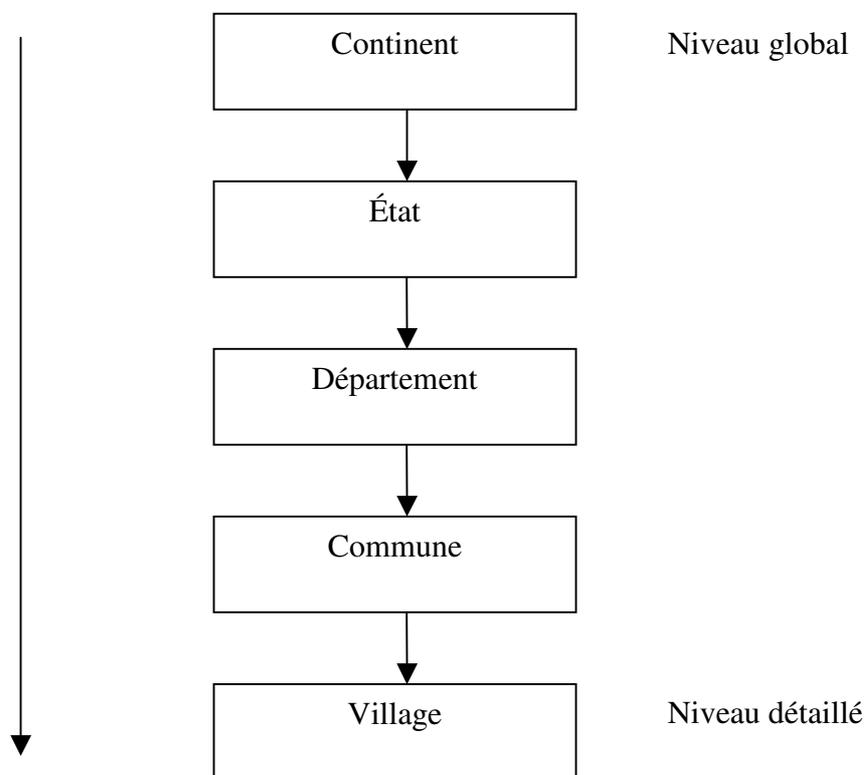


Figure 29: Changement de la sémantique suivant les niveaux d'abstraction

Dans le cas du domaine anthropologique, la définition des niveaux est liée à des associations sémantiques entre les niveaux d'abstraction. Dans ce cas, les entités spatiales de base sont des polygones qui représentent des toponymes (T1, T2, T3) associés à des parcelles

de terrains (Figure 31). Le toponyme T1 se décompose en T2 et T3 à un niveau de détail plus fin et ainsi de suite.

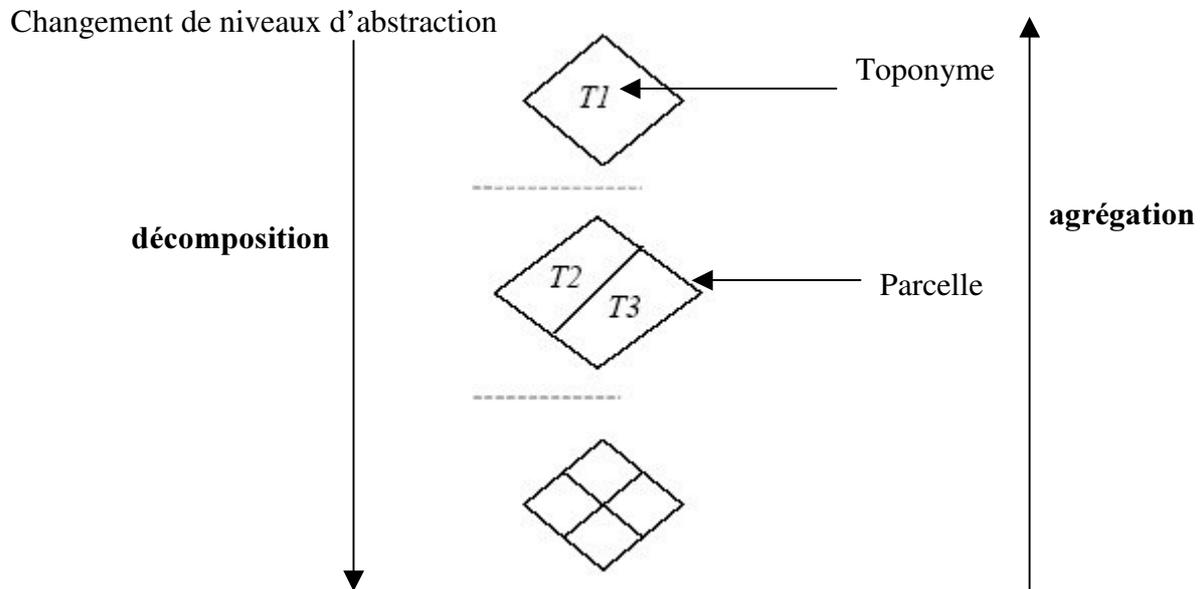


Figure 30 : Multiple représentation en anthropologie

Dans cet exemple (Figure31), on trouve une décomposition de l'objet géométrique et en même temps une décomposition de la partie sémantique. Les parcelles auront une nouvelle sémantique et une nouvelle forme géométrique.

2.1.4 Fonctions de transferts

La navigation entre les représentations nécessite la définition de fonctions de transfert d'information. Ces fonctions ont pour rôle de gérer le transfert d'information d'une représentation à une autre en tenant compte des recommandations de l'utilisateur selon le niveau de détail et le domaine voulu, la fonction utilisé, etc. Nous avons choisi de gérer la navigation par des fonctions de transfert illustrées sur le schéma de la figure 36. Ainsi, ces fonctions permettent de générer automatiquement une représentation associée à un domaine D et à un niveau d'abstraction N' à partir d'une représentation associée elle aussi au même domaine D et un niveau d'abstraction N (Figure 32).

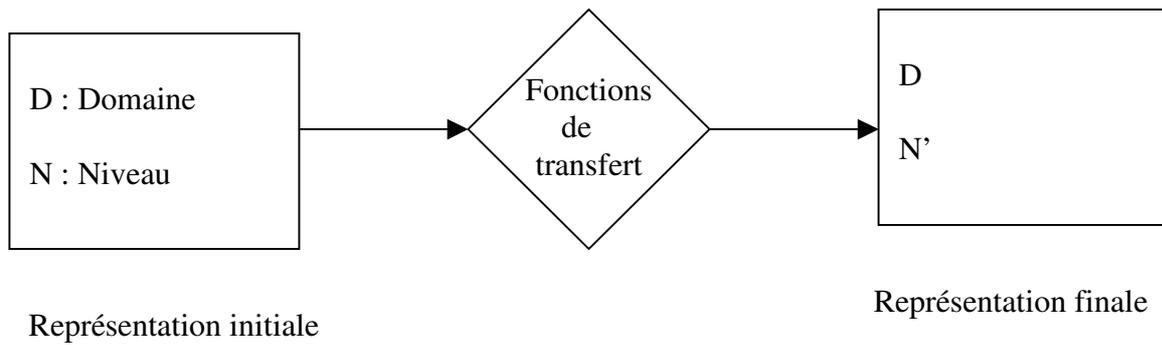


Figure 31 : Génération de nouvelles représentations

Ces fonctions de transfert utilisent bien sûr les opérateurs de généralisation pour créer de nouvelles représentations. Elles ont aussi pour rôle de faire appel à des représentations dans la base de données qui sont stockées par défaut : dans ce cas l'utilisateur aura la possibilité de choisir quelle sorte de généralisation permettra de générer une nouvelle représentation.

Dans l'exemple suivant (figure 33), on constate que l'utilisateur a deux possibilités de navigation entre les niveaux ; (i) de manière automatique avec les fonctions par défaut ou (ii) de manière interactive en créant ses propres fonctions de transfert.

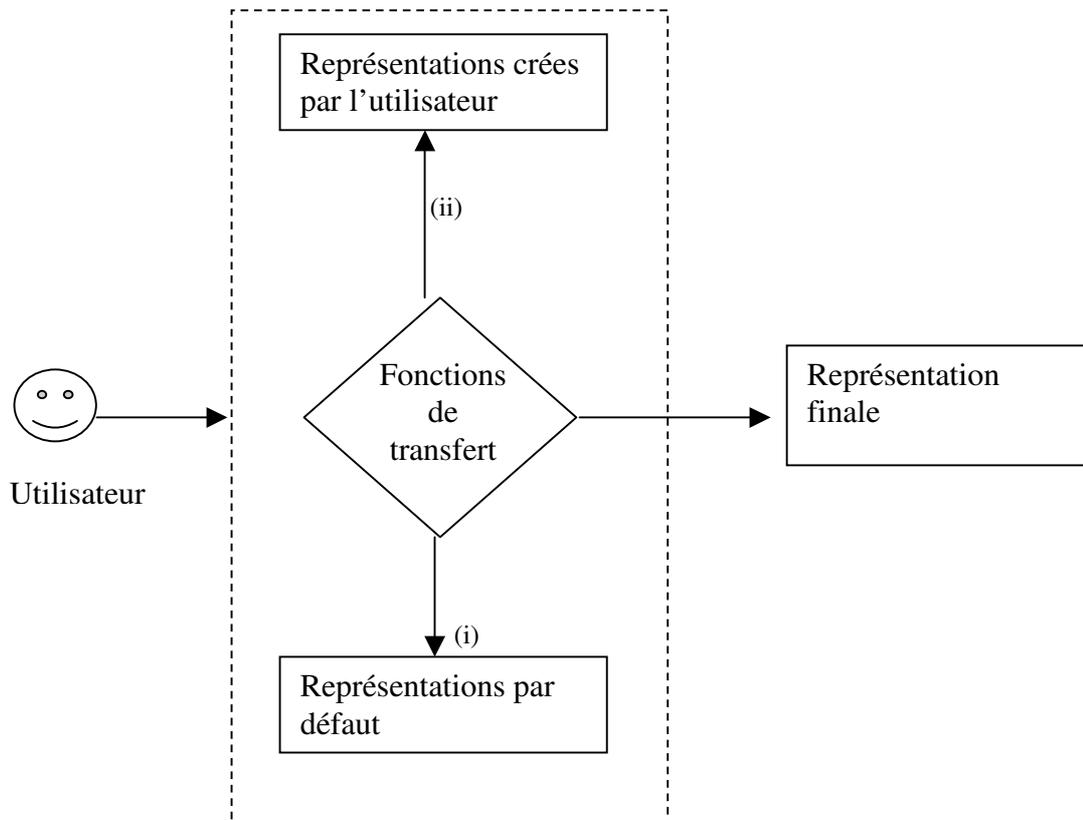


Figure 32 : Exemple de choix de fonctions de transfert

Pour un même domaine, la génération d'une représentation à un niveau d'abstraction N vers un niveau de détail plus élevé $N-1$ est nommée agrégation alors que la génération inverse d'une représentation est nommée décomposition. Ces fonctions de transfert décrivent comment l'agrégation et la décomposition doivent être réalisées.

Elles sont définies par l'utilisateur ou par défaut proposée par le système logiciel. Donc, pendant la navigation l'utilisateur peut choisir de changer de niveaux avec des fonctions de transferts proposées par défaut ou il peut choisir de définir des lui même des fonctions de transferts.

2.1.5 Outils géométriques

Pour un utilisateur travaillant dans le domaine des SHS (Archéologie, Astronomie, Anthropologie, etc.), il est très important de pouvoir faire des traçages géométriques sur les représentations pour des besoins d'analyse et de traitement des données. Ainsi par exemple, les outils géométriques de traçage sont indispensables pour pouvoir faire les liens entre les sites archéologiques, pouvoir tracer des cercles, etc. Ces fonctions géométriques permettent à l'utilisateur de faire des traçages entre les éléments spatiaux appartenant à une représentation donnée. Nous présentons des exemples dans les sections suivantes.

Notons que dans le domaine de l'astronomie à l'aide de fonctions mathématiques, l'utilisateur peut effectuer des calculs astronomiques, comme par exemple, le calcul de la déclinaison que nous détaillerons ultérieurement.

2.2 Approche de résolution formelle

Dans cette partie, afin de faciliter la conception orienté objet (COO) et l'implémentation des concepts présentés précédemment, nous détaillons la formalisation de l'approche de résolution définie en 2.1.

Tout d'abord, nous exposons les différentes étapes de l'approche puis nous présenterons un exemple concret. Notons que cette approche sera traitée dans la partie suivante par une conception orientée objet.

Pour la navigation entre les niveaux de détail, l'utilisateur a la possibilité de choisir un niveau de détail comme point de départ, mais pour effectuer les déplacements entre ces niveaux deux choix lui sont proposés : soit une navigation d'un niveau N_0 vers un niveau N_1

en utilisant la fonction de transfert par défaut, soit l'utilisation d'une fonction de transfert qu'il devra définir lui même.

2.2.1 Niveau d'abstraction

Pour un domaine défini, on stocke dans la base de données plusieurs représentations (R) à des niveaux de détails différents :

On appelle R l'ensemble de ces représentations.

$$R = \{ R_{N1}^{D1}, R_{N2}^{D1}, R_{N3}^{D1}, \dots, R_{Ni}^{D1}, R_{N1}^{D2}, R_{N2}^{D2}, R_{N3}^{D2}, \dots, R_{Np}^{Dp} \}$$

Ou :

R_{Nj}^{Dj} : représente une représentation R au niveau N_i et dans un domaine d'application D_j

La hiérarchie est une des formes les plus communes pour organiser et structurer les systèmes complexes. Les données géographiques sont une représentation du monde réel à différents niveaux de représentation : la représentation conceptuelle, la représentation numérique (données) et la représentation visuelle. Le but de la représentation visuelle est de visualiser les données numériques de sorte que l'information conceptuellement correcte soit perceptible aux utilisateurs. Une représentation conceptuelle est composée de différentes idées autour des objets du monde réel ainsi que leurs propriétés et relations.

Le schéma conceptuel (figure 34) est une expression formelle de la représentation conceptuelle, c'est la base pour le stockage des données. L'abstraction spatiale du monde réel est un composant essentiel des données géographiques. Des modèles conceptuels pour des données spatiales ont été mis en application dans des structures en raster est en vecteur.

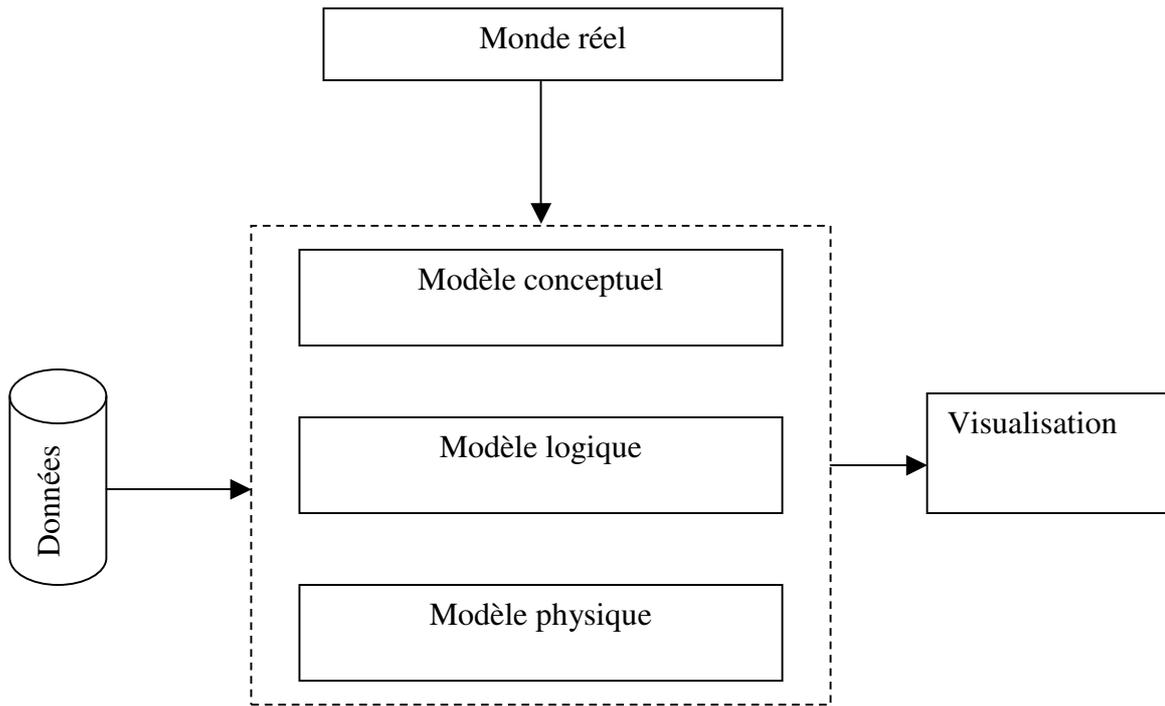


Figure 33 : Schéma conceptuel

2.2.2 Formalisation

2.2.2.1 Notion d'application

Une application est définie par le tuple suivant :

A = (Nombre Niveau, Liste Ordonnée, Nom Domaine, Nombre Domaine)

tel que :

- **Nombre Niveau** est le nombre de niveau d'abstraction que l'utilisateur désire obtenir.
 - Exemple: Nombre Niveau = 4
- **Liste Ordonnée** : la représentation initiale que l'utilisateur doit choisir pour se situer entre les niveaux choisis, chaque représentation à trois niveaux de détail.
 - Exemple : Niveau Global,
Niveau Inter,
Niveau Bas.
- **Nom Domaine** : définit dans quel domaine l'utilisateur se situe, il choisira un domaine parmi les domaines existant dans l'application. Il ne peut choisir qu'un seul domaine à la fois.
 - Exemple : Domaine Archéologie
Domaine Anthropologie
Domaine Astronomie

- **Nombre Domaine** : donne le nombre de domaine existant dans l'application au début, et partir de là l'utilisateur aura à choisir juste des domaines par rapport à ce nombre choisi. Dans notre application, on a fixé un nombre de trois domaines.

2.2.2.2 Fonctions de transfert

Cette notion correspond à la liste des fonctions qui permettent de générer une représentation automatiquement à partir d'une représentation donnée. Il existe deux sortes de listes de fonctions (voir 2.4) : une liste de fonctions par défaut introduite par le concepteur et une liste créée par l'utilisateur parmi des fonction qu'il choisira (voir figure 33). Nous avons donc deux types de fonctions de transferts.

1- Fonctions de transfert par défaut :

Exemple :

- **Décomposition** : son utilisation pendant la navigation permet de décomposer un objet d'une représentation à un niveau général en plusieurs objets d'une représentation nouvelle dans un autre niveau détaillé.

- **Agrégation** : son utilisation sera dans le sens inverse de la décomposition. Elle permet pendant la navigation de faire une agrégation des objets de même thème. Par exemple, un alignement de menhir représenté à un niveau plus détaillé, sera agrégé en un seul point dans une représentation moins détaillée.

2- Fonctions de transfert créées par l'utilisateur

Dans ce cas les notions permettent de guider l'utilisateur lors de la création d'une fonction de transfert. Une notion guide est définie par les informations suivantes :

Notion-Guide = [Définir Niveau, Définir Domaine, Créer Fonctions, Ajouter Fonctions]

tels que :

- **Définir Niveau** : définit le niveau d'abstraction choisi pour l'utilisation de la fonction
- **Définir Domaine** : définit le domaine choisi pour la fonction utilisée

- **Créer Fonctions** : création d'une nouvelle fonction de transfert à la liste avec la définition de son comportement.
- **Ajout Fonctions** : ajout d'une fonction à partir d'une liste de fonctions à la liste des fonctions de l'application en cours.

2.2.2.3 Notion de Représentation

Une représentation est définie par le tuple suivant :

R = [Composition, Niveau, Domaine]

tels que :

- **Composition** : définit les entités spatiales qui composent la représentation

Exemple : Représentations E_1, E_2, E_3

- **Niveau** : c'est un nom donné à la représentation pour définir son niveau à l'échelle réelle

Exemple : Niveau = Site Archéologique

Ou Niveau = Village archéologique

- **Domaine** : définit à quel domaine appartiennent les représentations

Exemple : Domaine = Archéologie

2.2.2.4 Notion de Navigation (Transfert)

Une navigation est un ensemble de fonction permettant le passage entre représentations. Elle est définie par le tuple suivant :

N = [Charger, Sauvegarder, Décomposer, Agréger, FDT, ZOOM-IN, ZOOM-OUT]

tels que :

- **Charger** : Charge les représentations pour la visualisation à partir de la base de données

Exemple : Charger E_1 , Domaine = Archéologie, Niveau Abstraction = Global

- **Décomposer** : Décompose les objets pendant la navigation. Par exemple, un point est décomposé en plusieurs points.

Exemple : Décomposition des entités de départ E_1 en E_2, E_3, E_4

- **Agréger** : Dans le sens inverse de la navigation précédente (Décomposition)

Exemple : E_2, E_3, E_4 vers E_1

- **FDT** : ce sont les fonctions de transfert utilisées par l'application au moment de la navigation entre représentations.

- **ZOOM-IN, ZOOM-OUT** : Faire un zoom ou un zoom brut sur une partie de la représentation.

2.2.2.5 Notion d'Entité

Une entité est définie comme suit :

$E = [\text{Nom, Genre, Attribut, Niveau}]$

tels que :

- **Nom** : définit le nom de l'entité ou de l'objet

Exemple : Entité de départ E_1 (site)

Entité d'arrivée E_2, E_3 (Coffres, Dolmens)

- **Genre** : définit le genre des entités, on distingue trois sortes :

- Entité point (coordonnées x , coord y , coord z , angle)
- Entité ligne (plus de deux points)
- Entité polygone (deux points est plus)

- **Attribut** : est un ensemble de définitions d'attributs. Il est défini par rapport à l'entité :

- Niveau d'abstraction
- Domaine

- Coord x , Coord y , Coord z
- Angle azimuth, angle hauteur, etc.
- Décomposition
- Agrégation

2.2.2.6 Notion de catégories de fonctions :

Une catégorie de fonctions est un tuple défini comme suit ;

M = [Traçage, Transfert, Affichage, Calcul]

tels que :

- **Traçage** : est un ensemble de fonctions géométriques qui permettent de dessiner toutes sortes de géométries à l'aide des fonctions de traçage. Ces fonctions de traçage (FT) sont définies par le tuple suivant :

FT = [point, ligne, cercle, arc, triangle, rayon, secteur]

Exemple : tracer un cercle à partir d'un point et analyser tous les objets qui se trouvent dans son périmètre ou trouver les points de passage de périmètre.

- **Transfert** : définit le transfert entre niveaux d'abstraction dans un domaine donné

Exemple : Le transfert de $R1$ vers $R2$ se fait à l'aide de la fonction de transfert F tel que $R2 = F(R1)$.

- **Affichage** : permet d'afficher les données.

Exemple : affichage latitude – longitude,

affichage hauteur

- **Calcul** : est un ensemble de fonctions qui permettent de faire des calculs astronomiques.

2.2.3 Notation formelle

Cette partie est consacrée à la définition formelle des différents éléments intervenants dans la modélisation. Nous donnons une définition à chaque élément de la modélisation dans la première section de cette partie, puis nous terminons par un exemple dans la dernière partie.

2.2.3.1 Formalisation du modèle SIG

Le système R étudié est constitué d'un ensemble de représentations comme suit :

$$R = \{R_i\}_{i \in I}$$

L'ensemble des représentations est constitué d'objets. Il est noté comme suit :

$$R_i = R \in R \quad / R = \{\text{Objet}_j\}_{j \in J}$$

$$\text{Objet}_j = \{\text{point} \cup \text{lignes} \cup \text{polygones}\}$$

On note par Niv , l'ensemble des niveaux d'abstraction et par D , l'ensemble des domaines.

On appelle M , le modèle SIG du système étudié. M est défini par l'ensemble suivant :

$$M = \{R, Niv, D, Trans\}$$

$Trans$: représente l'ensemble des fonctions qui créent un lien reliant les éléments d'une représentation à un niveau aux autres représentations d'autres niveaux. Ces informations permettent la transmission des informations entre objets de représentations à des niveaux d'abstractions différents. Ces fonctions sont définies par :

$$\begin{array}{ccc} Niv, P(R) & \longrightarrow & Niv, P(\text{objet}) \\ Niv_i, \{\text{objet}_n\}_{n \in N \subset J} & \longrightarrow & Niv_j, \{\text{objet}_k\}_{k \in K \subset J} \quad / i \neq j \end{array}$$

Où : $\{\text{objet}_n\}_{n \in N \subset J}$ est inclus dans une représentation $R_l \in R$

$\{\text{objet}_k\}_{k \in K \subset J}$ est inclus dans une représentation $R_k \in R \quad / l \neq k$

2.2.3.2 Exemple

Après la présentation des approches informelle et formelle, nous décrivons dans cette partie un exemple d'application des deux approches. Nous avons choisi deux domaines différents pour notre exemple d'études ; l'Archéologie, l'Anthropologie. L'espace géographique choisi pour les deux domaines est le même, mais les méthodes de calculs de changement de détail ne sont pas forcément les mêmes pour chaque cas, nous présentons le modèle informel correspondant à l'exemple avant de présenter le modèle formel.

2.2.3.2.1 Modèle informel

Pour le domaine Archéologique, les objets représentés sont de types point, ligne et polygone pour la représentation des objets spatiaux tels que les dolmens, coffres et menhirs. Notons que pour chaque niveau d'abstraction, les objets ont une nouvelle forme suivant la navigation voulue de plus détaillé vers le moins détaillé ou le contraire. Par exemple, on peut dire qu'un site archéologique à un niveau quelconque est représenté par un point et au fur et à mesure qu'on change de niveau de détail, on trouvera toutes les composantes du site, tels que les menhirs, dolmens, etc.

Pour le domaine Anthropologique, nous présentons le cas du toponyme des parcelles. La plupart des objets utilisés sont des polygones, car c'est le plus adapté pour représenter les surfaces.

Dans la figure 35, nous décrivons un modèle symbolisant un système Ω . Les deux domaines représentés sont le domaine archéologique et anthropologique.

Comme nous pouvons constater sur la figure 35, le modèle SIG est composé de trois niveaux d'abstraction. On remarque que la navigation entre les niveaux d'abstractions Niv1 et le niveau d'abstraction Niv2 est assurée par deux fonctions de transfert : $Trans_1 = FT_1$ et $Trans_2 = FT_2$ telles que :

$Trans_1$: décrit comment les données sont transférées d'un niveau Niv_1 [$Niv_1.P_1$] vers le Niv_2 [$Niv_2.P_2$] à l'aide d'une fonction nommée FT_1 .

$Trans_2$: spécifie comment la navigation se fait de [$Niv_1.P_1$] vers le niveau [$Niv_2.P_3$] à l'aide d'une fonction FT_2

Notons que le même principe est appliqué pour la navigation entre les autres niveaux d'abstractions.

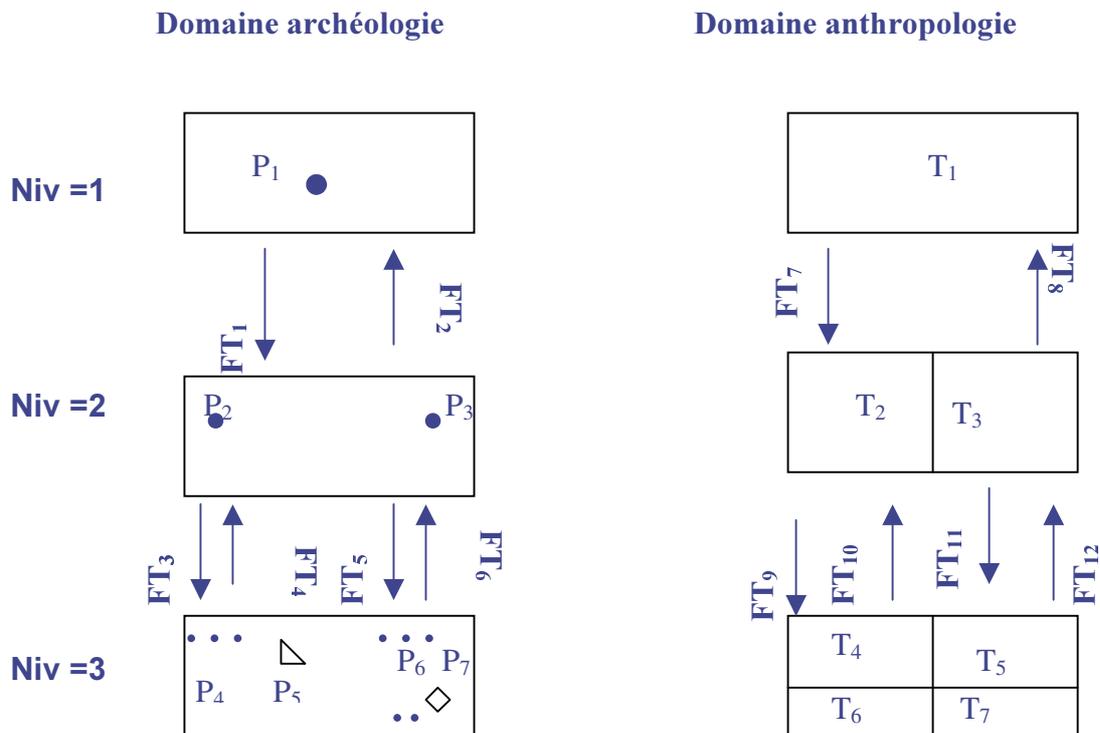


Figure 34 : Représentation des différents niveaux d'abstraction

Domaine Archéologique

Dans ce domaine, les objets spatiaux représentés sont stockés dans une base de données sous forme de couches et de données brutes qui caractérisent les différentes informations ou attributs de ces objets. Ainsi pour la navigation entre les niveaux d'abstraction pour cet exemple, il se fera à l'aide des fonctions de transferts.

Chaque représentation est composée d'objets. Ces objets sont représentés sous forme de points, lignes ou polygones. Chaque représentation est représentée dans un domaine précis. La figure 35 montre que la représentation $R1$ (Niv 1) est composée d'une entité spatiale de

type point P_1 avec comme coordonnées x et y et modélise pour les archéologues un complexe archéologique [KHO 04]. Cependant, afin de pouvoir étudier ce complexe à un niveau de détail plus bas Niv_2 , l'utilisateur peut en utilisant la décomposition, générer la représentation R_2 (Niv_2) composée de deux entités spatiales de type points (P_2, P_3). Dans cet exemple concret, le point P_2 représente un site composé d'un Dolmen et d'un Menhir, le point P_3 un site funéraire (Coffres + Menhirs) et le point P_4 un alignement de Menhirs. L'utilisateur peut effectuer un passage de la représentation R_3 vers la représentation R_2 ou R_1 en utilisant la fonction de transfert d'Agrégation, dans notre cas l'agrégation se fait déjà entre les mêmes entités spatiales. Par exemple, un alignement de Menhirs, ou l'agrégation de plusieurs Dolmens et Coffres en un site funéraire. La navigation de la représentation R_1 vers R_2 ou R_3 s'effectue avec la fonction de transfert Décomposition, d'un niveau de détail moins détaillé vers un niveau plus détaillé.

Dans la réalité, il existe des alignements de Menhirs qui ne sont pas homogènes, où on trouve dans des cas soit des Menhirs en dehors de l'alignement principal ou des Menhirs qui ont été déplacés de leurs emplacements initiaux. Dans ce cas et pour les besoins d'analyses archéo-astronomiques et archéologiques sur l'orientation des alignements, il sera intéressant de pouvoir trouver un alignement principal ou comme une sorte d'alignement qui regroupe le plus de Menhirs possible.

Pour cela, supposons que nous avons un ensemble de Menhirs dans un site archéologique (Figure 36).

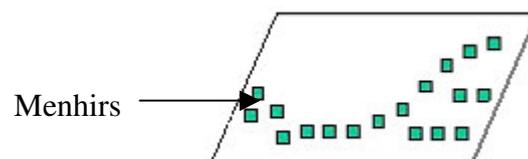


Figure 35 : Représentation de Menhirs dans un site archéologique

La représentation d'un alignement principal passe sûrement par des méthodes de généralisation. Ainsi, l'utilisateur définit pour cela les fonctions de transfert, qui sont aussi des contraintes introduites par l'utilisateur. Ces contraintes pour les menhirs sont des Contraintes de distance entre les Menhirs. Par exemple, avoir une distance minimale et une distance maximale entre un menhir et son voisin à partir de laquelle on considère que le

menhir appartient ou non à un alignement. On remarque sur la figure 37 que, malgré que le menhir et pratiquement sur le même alignement, mais vu qu'il ne respecte pas la distance maximale exprimé il sera pas pris en compte dans l'alignement principale (Figure 38)



Figure 36 : Distance maximale entre Menhirs

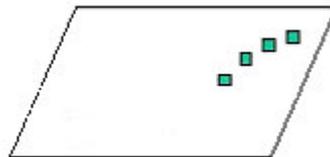


Figure 37 : Alignement principal obtenu après contrainte

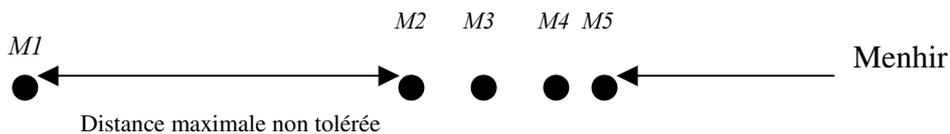


Figure 38: contraintes distance

Dans l'exemple ci-dessus (figure 39), le Menhir $M1$ est exclu de l'alignement car il se situe à une distance maximale tolérée, alors que $M2, M3, M4, M5$ constituent un alignement, car les distances entre les menhirs sont tolérées.

Dans le cas où la représentation de l'emplacement des Menhirs d'une zone est très dense et l'alignement n'est pas visible à l'œil nu, on utilise pour la constitution de l'alignement la Contrainte de densité. Ainsi, il s'agit d'abord de trouver pour chaque Menhir le voisin le plus proche. Ensuite, on voit le menhir qui est en alignement avec ces deux précédent. Ce qui permet de constituer le premier groupe d'alignement. Avec ce premier groupe, on cherche

alors s'il existe un alignement avec un autre groupe identique de trois menhirs le plus proche ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un alignement principal.

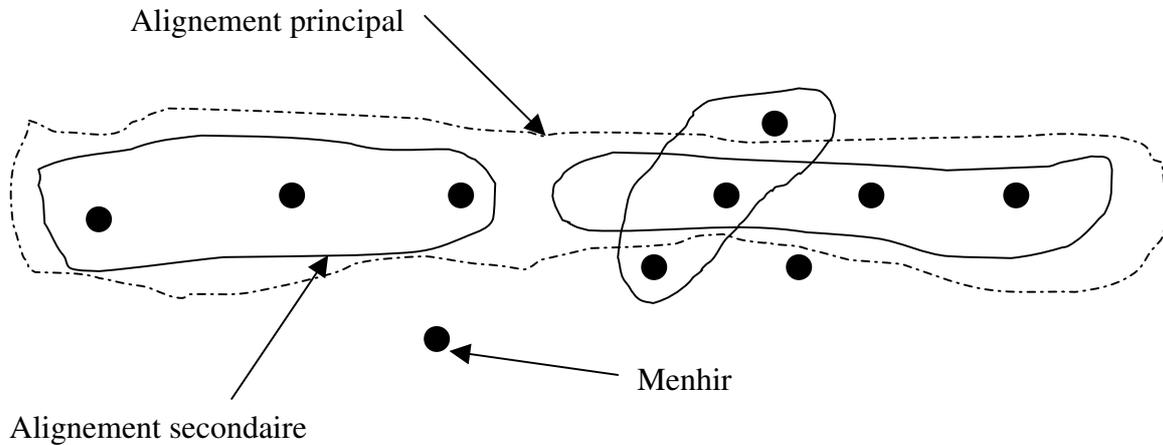


Figure 39 : Contrainte de Densité

L'alignement principal dans le cas de la figure 40 est l'union entre les deux alignements secondaires, vu qu'ils constituent le plus grand nombre de menhirs alignés.

Dans la plus part des situations les menhirs soit alignés vers une orientation précise, or avec le temps les menhirs subissent des déplacements soit par l'homme ou la nature. Pour trouver l'axe d'alignement d'origine la fonction de transfert de *Simplification* sera appliquée sur les menhirs qui se trouvent en dehors de l'axe principal d'alignement.

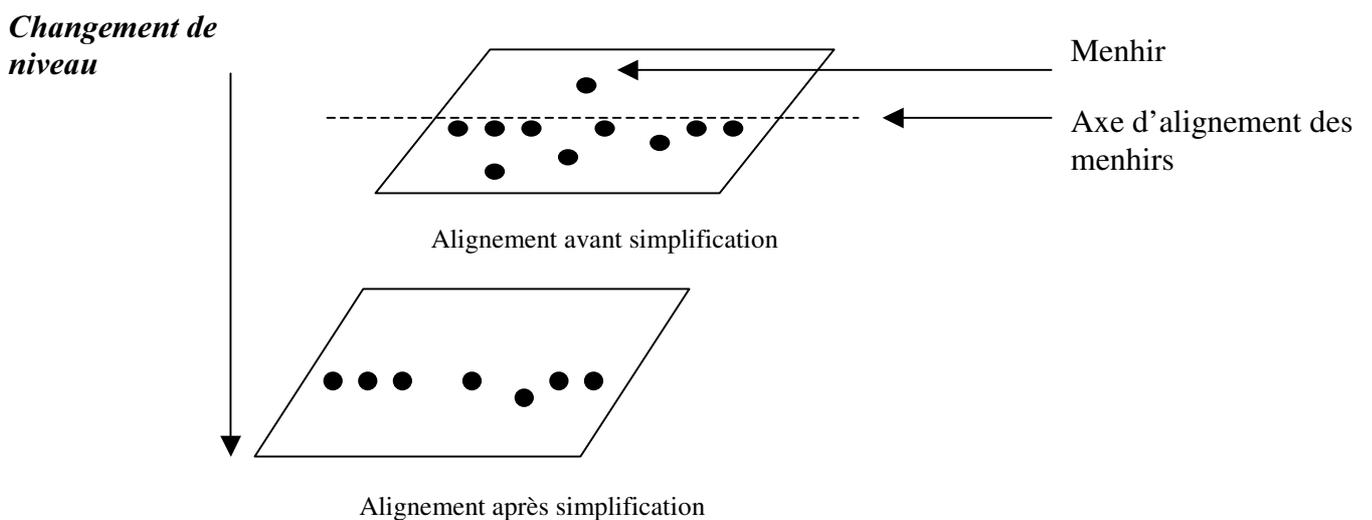


Figure 40: Simplification des menhirs hors structure principale

Domaine Anthropologie

Le principe de définition des niveaux ainsi que des représentations associées est bien sûr semblable dans le cadre du domaine Anthropologique. Dans ce cas, les entités spatiales de base sont des polygones et représentent des toponymes ($T1$, $T2$, $T3$) associés à des parcelles de terrains comme dans la figure 42. Le toponyme $T1$ se décompose en $T2$ et $T3$ à un niveau de détail plus fin. L'espace est composé suivant son toponyme et cela à un niveau moins détaillé $T1$. Toute la partie représentée de l'espace a un même toponyme et à fur et à mesure qu'on change de niveau d'abstraction vers des représentations de plus en plus détaillées le toponyme se décompose en d'autres toponymes $T2$ et $T3$, etc. Jusqu' à l'obtention du toponyme final recherché. La représentation de toponyme $T1$ englobe tous les autres toponymes, les relations entre les différentes représentations se font par décomposition.

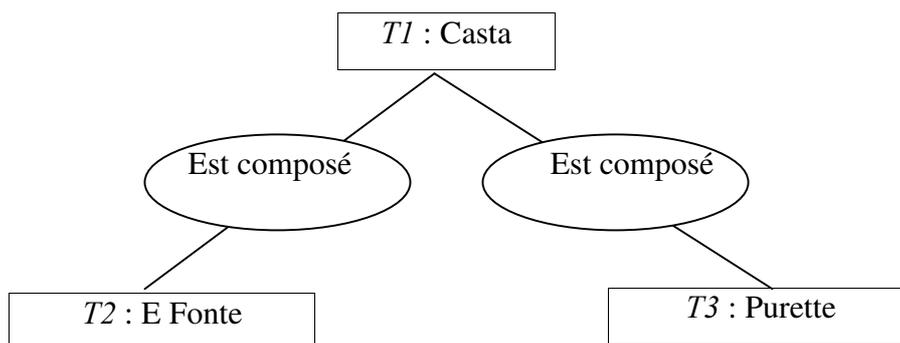


Figure 41 : Schéma représentatif d'une agrégation

Domaine Astronomie

Pour le domaine astronomique, notre exemple d'application concerne sur les calculs astronomiques, comme par exemple la déclinaison ou l'azimut. Ce cas est un peut différent des deux précédents exemples, il nous permet d'illustrer la nécessité de faire des études géométrique et astronomiques.

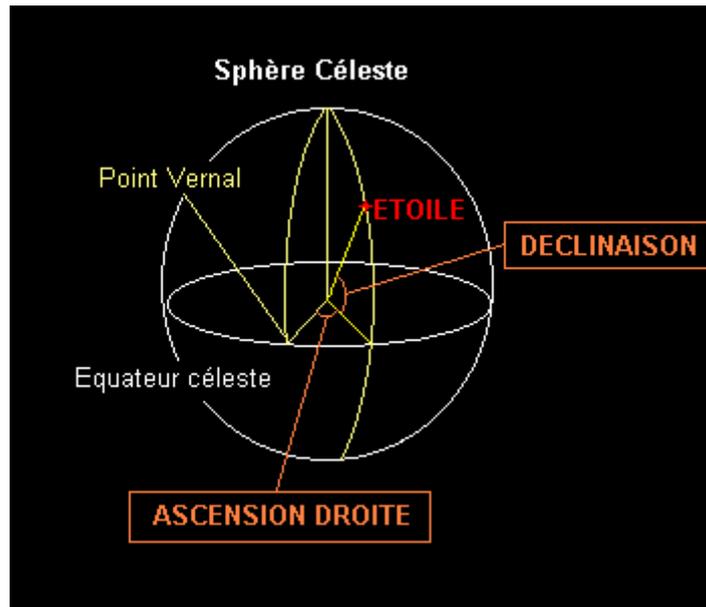


Figure 42 : Position d'une étoile sur la sphère Céleste

En effet, pour un niveau d'abstraction donné, l'utilisateur peut automatiquement par exemple calculer la déclinaison d'une entité spatiale de type $P2$ (Attributs x_2, y_2, z_2) à partir d'une entité spatiale de type point $P1(x_1, y_1, z_1)$ et de l'angle A (Azimut) de la figure 44. Dans chaque calcul, l'utilisateur doit faire entrés les données nécessaires pour obtenir les résultats voulus automatiquement. Nous présentons dans l'exemple suivant comment on peut calculer l'Azimut avec des équations trigonométriques.

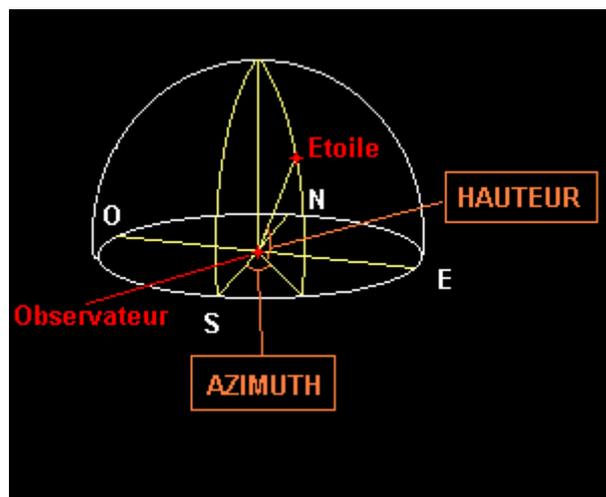


Figure 43 : Position de l'étoile pour l'observateur

Notations utilisées :

Latitude = lat

Longitude = longi

Déclinaison = dec

Ascension droite = asc

Azimut = az

Hauteur = hau

Angle Horaire de l'étoile = H = angle - asc + longi

angleH = angle lié a l'heure sidérale.

angleT = angle lié a l'heure.

angle = angleH + angleT

Calcul de la Hauteur :

$$\text{sinushauteur} = \sin(\text{dec}) * \sin(\text{lat}) - \cos(\text{dec}) * \cos(\text{lat}) * \cos(\text{H})$$

La hauteur est un angle compris entre -90° et $+90^\circ$, la hauteur s'obtient donc simplement par la formule suivante :

$$\text{hau} = \arcsin(\text{sinushauteur})$$

Calcul de l'Azimut :

$$\text{cosazimuth} = (\sin(\text{dec}) - \sin(\text{lat}) * \sin(\text{hau})) / (\cos(\text{lat}) * \cos(\text{hau}))$$

L'azimut est un angle compris entre 0 et 360° , nous avons donc besoin du calcul intermédiaire suivant :

$$\text{sinazimuth} = (\cos(\text{dec}) * \sin(\text{H})) / \cos(\text{hau})$$

Si $\text{sinazimuth} > 0$ alors :

$$\text{az} = + \arccos(\text{cosazimuth})$$

Sinon :

$$\text{az} = - \arccos(\text{cosazimuth})$$

D'autres calculs astronomiques sur les différents besoins des utilisateurs peuvent être ajouté facilement. Pour cela, il suffit simplement de connaître l'équation mathématique à introduire ainsi que les paramètres astronomiques nécessaires pour résoudre l'équation.

3.2 Modèle Formel

Dans cette sous-section, nous décrivons le modèle formel correspondant à l'exemple présenté en figure 39. Le système SIG est représenté par le modèle général Ω suivant ;

$$\Omega = \{R(\Omega), O(\Omega), Niv(\Omega), D(\Omega), Trans(\Omega)\} \text{ avec :}$$

$R(\Omega)$: représente les différentes représentations dans l'exemple ;

$$R(\Omega) = \{R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6\}$$

$O(\Omega)$: représente l'ensemble des objets constituant les représentations

$$O(\Omega) = \{P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, T1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7\}$$

$Niv(\Omega)$: représente l'ensemble des niveaux d'abstraction entrant dans la construction de modèle général Ω .

$$Niv(\Omega) = \{Niv_1, Niv_2, Niv_3\}.$$

$D(\Omega)$: représente l'ensemble des domaines étudiés.

$$D(\Omega) = \{archo, Anthro\}.$$

Les fonctions du transfert sont au nombre de douze ;

$$Trans(\Omega) = \{Trans1, Trans2, Trans3, Trans4, Trans5, Trans6, Trans7, Trans8, Trans9, Trans10, Trans11, Trans12, \}.$$

L'ensemble $Trans(\Omega)$ fournit les descriptions suivantes :

Trans1 :	Source	= (1, P ₁)
	Destination	= {2, (P ₂ , P ₃)}
	Fonction	= FT ₁ ()

Trans2 : Source = {2, (P3, P2)}
 Destination = (1, P1)
 Fonction = FT₂()

Trans3 : Source = (2, P2)
 Destination = {3, (P4, P5)}
 Fonction = FT₃()

Trans4 : Source = {3, (P5, P4)}
 Destination = (2, P2)
 Fonction = FT₄()

Trans5 : Source = (2, P3)
 Destination = {3, (P6, P7)}
 Fonction = FT₅()

Trans6 : Source = {3, (P6, P7)}
 Destination = (2, P3)
 Fonction = FT₆()

Trans7 : Source = (1, T₁)
 Destination = {2, (T₂, T₃)}
 Fonction = FT₇()

Trans8 : Source = {2, (T₃, T₂)}

	Destination	= (1, T ₁)
	Fonction	= FT ₈ ()
Trans9 :	Source	= (2, T ₂)
	Destination	= {3, (T ₄ , T ₆)}
	Fonction	= FT ₉ ()
Trans10 :	Source	= {3, (T ₆ , T ₄)}
	Destination	= (2, T ₂)
	Fonction	= FT ₁₀ ()
Trans11 :	Source	= (2, T ₃)
	Destination	= {3, (T ₅ , T ₇)}
	Fonction	= FT ₁₁ ()
Trans12 :	Source	= {3, (T ₇ , T ₅)}
	Destination	= (2, T ₃)
	Fonction	= FT ₁₂ ()

4. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les concepts ainsi que les éléments intervenant dans le processus de modélisation. Dans un premier temps, cette présentation a été établie de façon informelle puis de façon formelle, ce qui nous a conduit à détailler les aspects fondamentaux relatifs au processus de modélisation mis en œuvre. Ensuite, nous avons introduit un exemple faisant intervenir de nombreux concepts de modélisation.

Nous avons décrit aussi comment la définition de concepts de domaine, niveaux d'abstraction et fonctions de transfert permet la résolution de problèmes mis en évidence. La définition des notions de niveaux d'abstraction de données spatiales ainsi que la notion de domaine ont permis une structuration originale des données. Dans la suite de ce document, nous allons montrer qu'à partir de ces notions nous pouvons offrir une infrastructure logicielle générique permettant notamment de :

- gérer plusieurs domaines et niveaux d'abstraction de données spatiales
- définir ou utiliser des fonctions de transfert entre niveaux
- réaliser des analyses géométriques ou astronomiques entre différentes données spatiales.

C'est ce que nous allons présenter dans le chapitre suivant en utilisant une approche orientée objet.

Chapitre IV Conception Orientée Objet

1 introduction

L'exploration des données dans un SIG peut être considérée comme un processus d'abstraction par lequel des données à des niveaux d'abstractions plus bas peuvent être classées par catégories.

L'information géographique est nécessaire dans une étendue d'applications et dans de larges domaines. Cette information est souvent contrôlée par différentes composantes des SIG. Souvent la même entité réelle (par exemple, un fleuve ou bâtiment) est représenté par différents objets dans la même base de données, c'est ce qu'on appelle la multiple représentation. La représentation peut être provoquée par les différentes approches de collecte de données, les différentes définitions sémantiques, avec le changement des niveaux de détail, ou aussi par les différents objectifs d'applications. L'étude, dans le chapitre précédent, des besoins des utilisateurs des Sciences Humaines et Sociales (SHS) pour les SIG a mis en évidence l'importance de pouvoir faire une manipulation simultanée des multiples représentations d'un même phénomène.

Quand un utilisateur interroge la base de données pour l'affichage d'une représentation des mêmes phénomènes. La requête trouvera la représentation demandée par l'utilisateur. De telles requêtes permettent de comparer et de trouver les représentations adéquates recherchées par l'utilisateur au début de sa navigation. Ces représentations seront traitées dans les aspects d'initialisation proposés dans les fonctions du logiciel. La commande Initialisation peut contenir plusieurs représentations. Dans la figure 47, la multi-représentation contient deux grandes bases de données, une base de données géographique, et l'autre sous forme de fichier (Excel, Access.)

2 Conception Orientée Objet et SIG

Le modèle orienté objet des données est un nouveau modèle de données qui est bien avancé selon des techniques orientées objets dans les années 90. Il peut construire une hiérarchie d'objets, qui s'accordent avec des hiérarchies d'éléments géographiques. Le modèle représenté dans notre étude est nommé GIS-3A, il propose une solution aux besoins cités dans le chapitre 2, pour la manipulation des données représentées suivant différents niveaux d'abstractions et différents domaines. Nous allons décrire les différentes fonctionnalités ainsi que les différentes parties importantes de la conception de schémas SIG.

2.1 Le point

Le point est fondamental au schéma total car il représente les objets de base. Un point peut représenter une route, une tombe ou un menhir suivant la représentation où il se trouve. Il a les valeurs de ses coordonnées (x, y) dans la représentation géographique comme relation avec la base de données non-géographique où toutes ses caractéristiques sont stockées. La figure 45 décrit l'objet de base point.

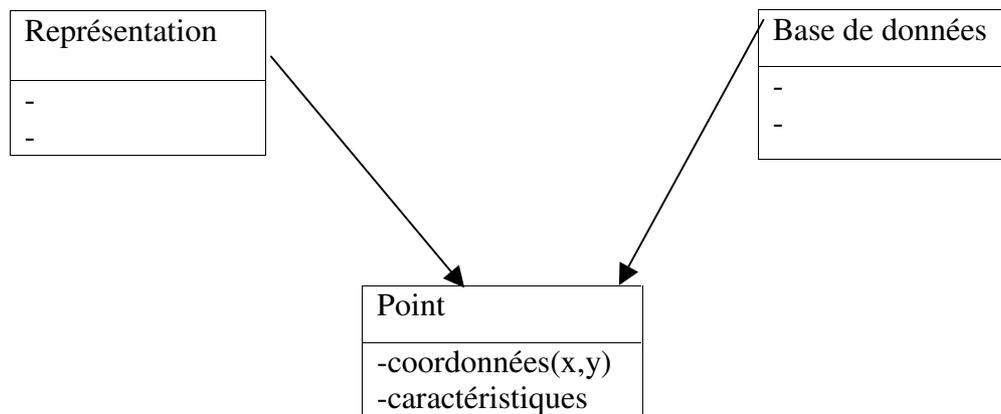


Figure 44 : Schéma représentatif de l'objet de base point

2.2 Les représentations

Toutes les représentations sont stockées dans une base de données. Chaque représentation est décrite à un niveau de détail précis, la représentation mère et l'abstraction de l'état réel de l'espace (première présentation des données récoltées) et avec les autres représentations dérivées de celle-ci qui concernent le même domaine. La figure 46 décrit des représentations héritées. En UML, le schéma des représentations peut être décrit par le diagramme de classe suivant :

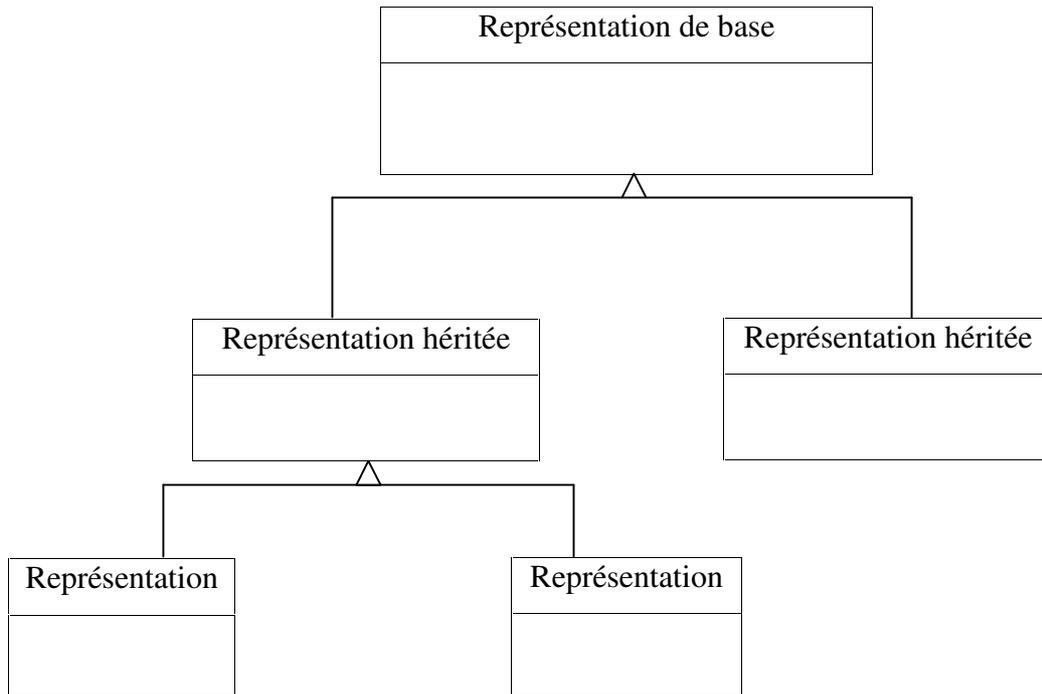


Figure 45 : Schéma des représentations héritées

GIS-3A comporte plusieurs schémas, chaque schéma est composé d'une multitude de représentation d'un domaine, à des niveaux d'abstractions distincts l'un de l'autre, et ainsi qu'une base de données non géographique, dans laquelle on stocke différentes coordonnées et caractéristiques des objets constituant une représentation.

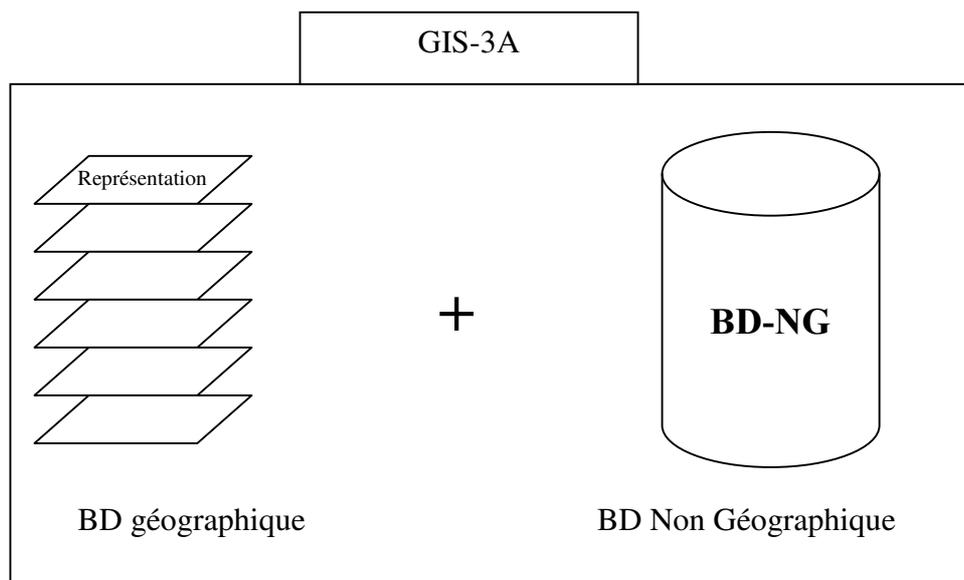


Figure 46 : Schéma représentatif de GIS-3A

A chaque représentation, on associe des données de la base de données (BD-NG). Ainsi l'utilisateur, pour une visualisation, aura donc deux types de données à visualiser. Un niveau de détail est représenté dans GIS-3A sous forme d'un couple $R(r, d)$ / r : représentation, d : données non géographiques (alphanumériques, sémantiques, etc.).

Niveau de détail
Domaine : N° r : Identifiant : d :

Figure 47 : Composantes d'une représentation

Les représentations peuvent être liées par des relations inter-représentations, car elles représentent le même espace géographique. En plus les objets peuvent être représentés de la même façon dans différentes représentations. Les liens entre représentations permettent de descendre (ou remonter) entre les niveaux des détails.

En COO, des méthodes sont définies sur les objets. Ces méthodes sont liées aux comportements des objets. Un autre concept de COO est la spécialisation, qui fournit les moyens de définir une nouvelle classe d'objets en fonction des classes existantes. La nouvelle classe hérite des caractéristiques (valeurs, références, méthodes de comportement, etc.) de ses classes ou sa classe parent (s). En utilisant la spécialisation, des hiérarchies des classes peuvent être créées. Dans la figure 49, on présente un exemple sur la transmission des classes, elle montre un schéma de transmission multiple des classes.

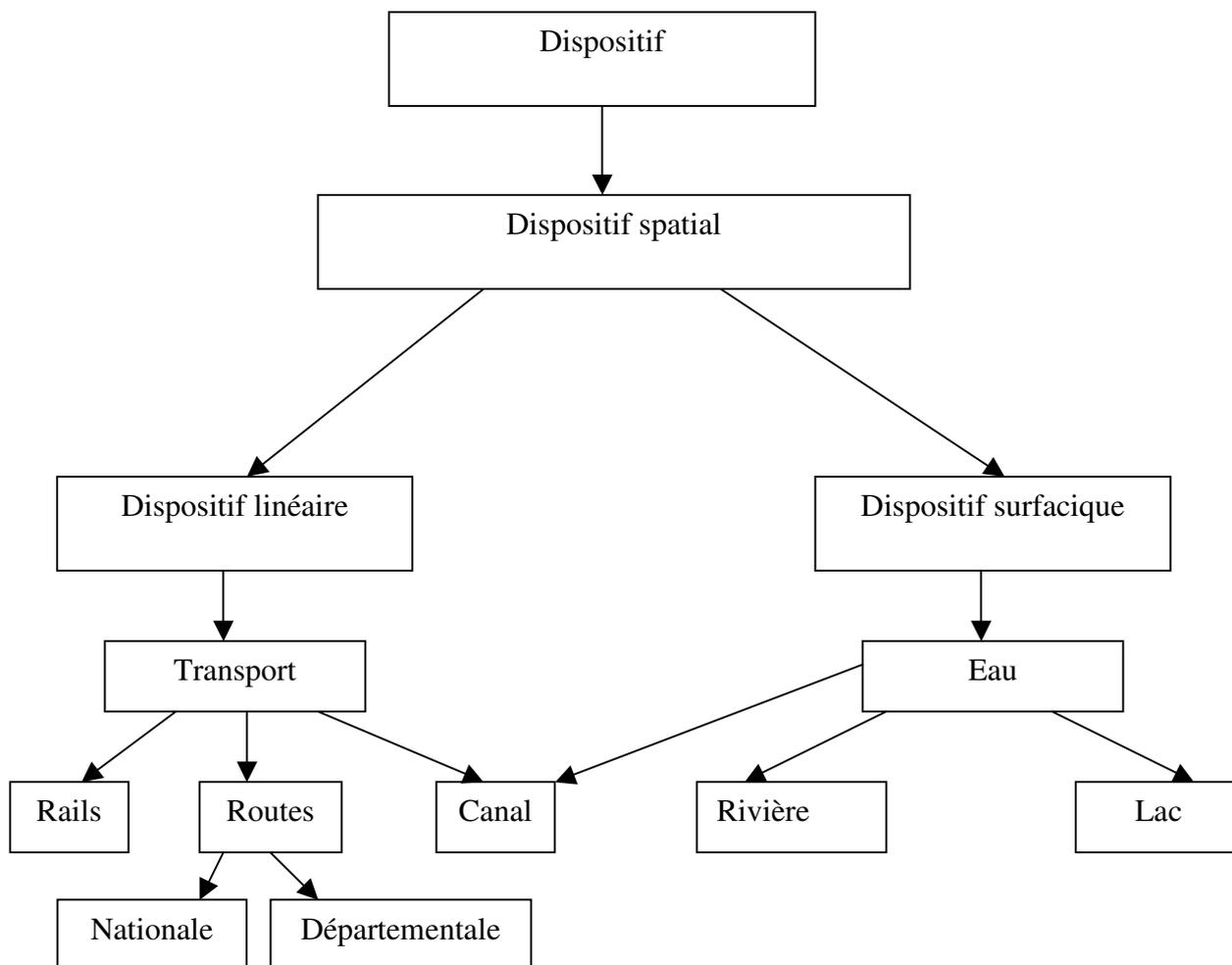


Figure 48 : Transmission multiple des classes

2.2.1 les relations entre représentations

Une représentation dans GIS-3A est représentée comme le couple (r, d) pour le même domaine. Pour les différentes représentations des liaisons existent afin de permettre une navigation automatique entre les niveaux d'abstractions. Chaque représentation a un lien avec la représentation moins ou plus détaillée qu'elle. Par exemple soient $R1$, $R2$, $R3$ trois représentations d'un même espace géographique dans le même domaine, $R2$ se trouve entre $R1$, moins détaillée qu'elle, et $R3$ plus détaillée qu'elle. Une relation existe entre $R1$ et $R2$, $R2$ et $R3$ pour faciliter le passage de la représentation $R1$ vers $R3$. La représentation $R2$ hérite automatiquement de $R1$, ainsi les données de $R2$ générées de cet héritage détailleront quelques données de $R1$. Une relation définit un comportement d'une représentation pendant la

navigation, comme l'agrégation, la décomposition, La figure 50 montre un héritage des données pendant la décomposition.

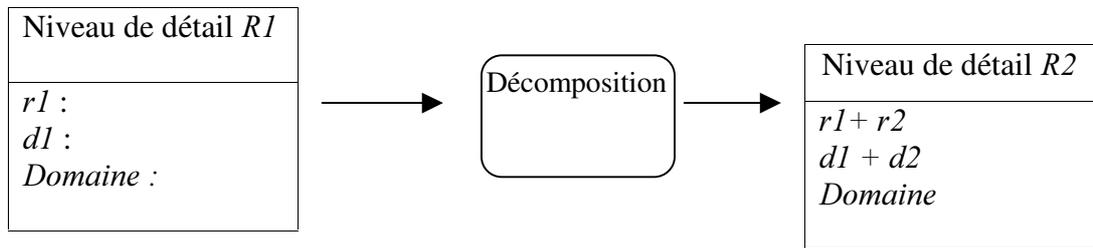


Figure 49 : Héritage des données pendant la navigation

2.2.2 Les fonctions de transferts

La classe fonction de transferts joue un rôle très important dans la navigation. Pour un utilisateur, une fonction de transfert est le moyen pour naviguer entre les niveaux de détails. Elles permettent de chercher des représentations suivant les contraintes imposées d'avance par l'utilisateur. Par exemple, trouver une représentation où il y a une agrégation de tout les Menhirs en un point unique, ou trouver une fonction de transfert une décomposition de ce point en alignement de menhirs. La figure 51 décrit les fonctions de transfert d'agrégation et de composition.

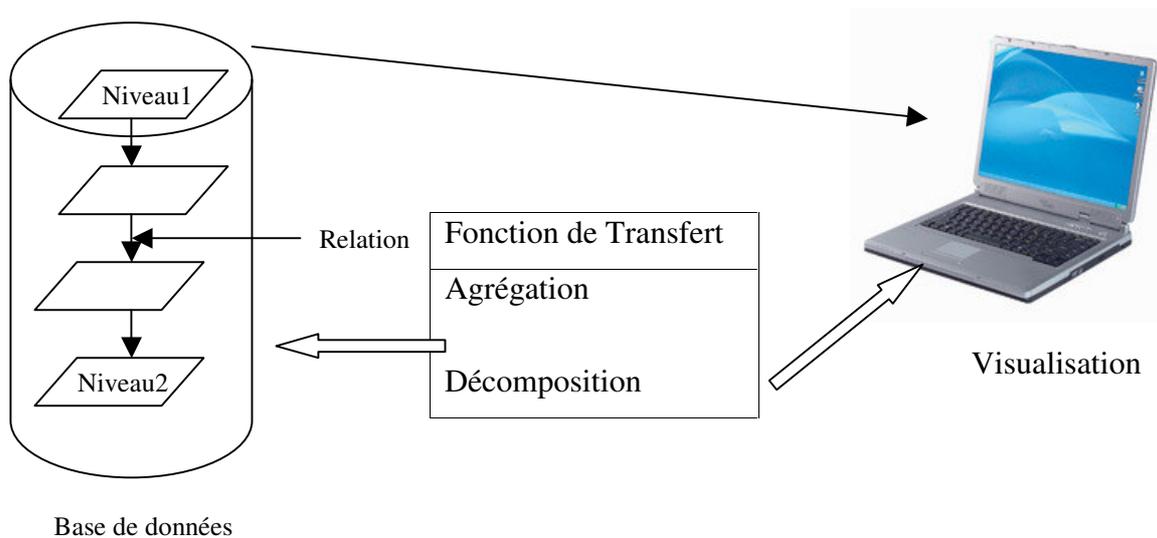


Figure 50: Fonctions de transferts

Dans la figure 52, nous présentons un schéma des différents acteurs qui interviennent dans la procédure de la navigation dans GIS-3A. Ainsi nous remarquons que l'utilisateur choisit son domaine et son niveau d'abstraction de départ (initialisation).

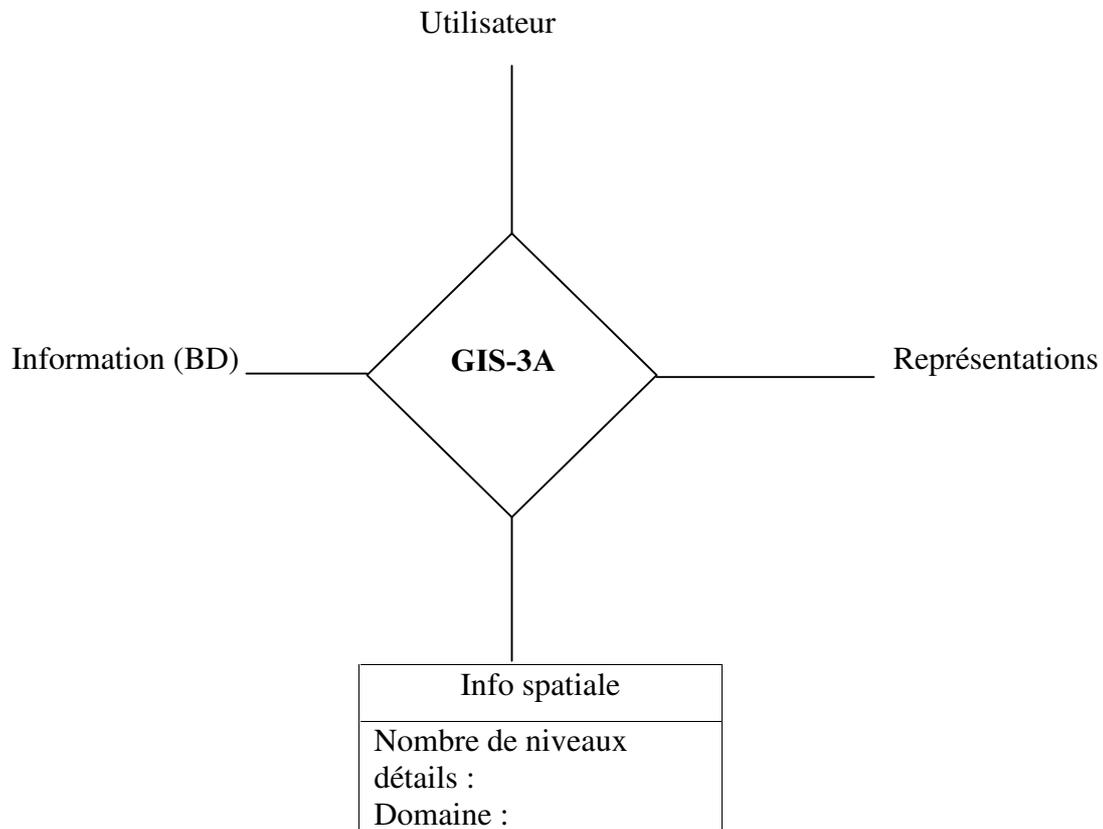


Figure 51 : Représentation globale du dispositif de navigation

Pour la navigation, l'utilisateur choisit une fonction de transfert où il se déplace automatiquement entre les représentations liées entre elles automatiquement. Dans la figure 53, une représentation plus détaillée du dispositif est présentée avec comme exemple un site archéologique. Sur la figure 53 on a l'exemple d'un utilisateur qui appartient au domaine archéologie, il peut choisir un niveau d'abstraction et faire la navigation entre les niveaux de détail à l'aide des fonctions de transfert d'information.

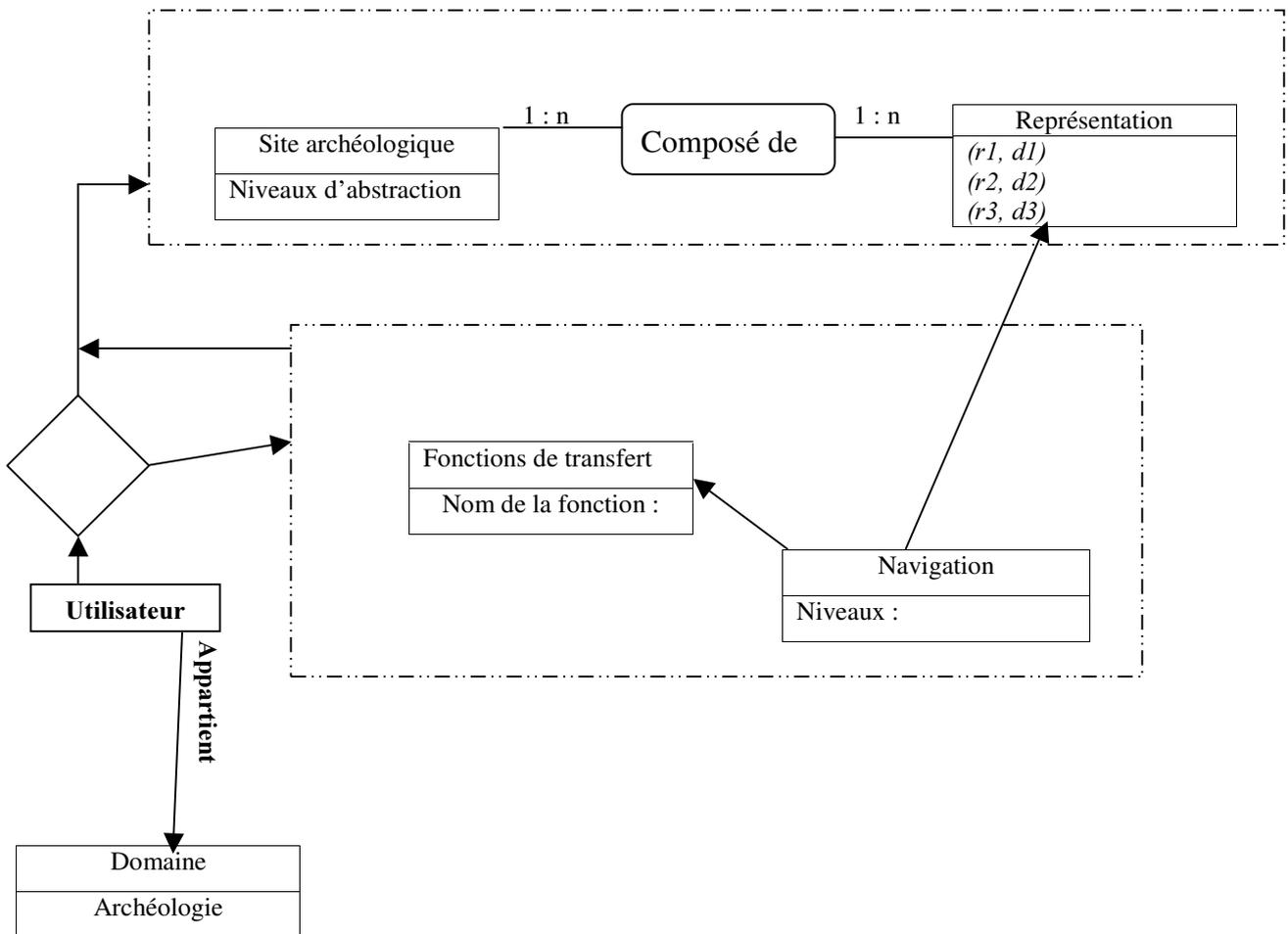


Figure 52 : Schéma du module GIS-3A

2.3 Fonctionnalités du logiciel

La plate forme logicielle nommée GIS-3A est divisée en deux aspects. L'aspect initialisation où l'utilisateur a à choisir entre les domaines, les niveaux d'abstractions, etc. Et l'aspect navigation où l'utilisateur choisit les moyens adéquats pour son déplacement entre les niveaux de détails.

2.3.1 Aspect initialisation

Le modèle GIS-3A se compose, comme nous l'avons dit auparavant, d'un couple de donnée $R(r, d)$. Pour un domaine précis, on peut trouver plusieurs couples. Par exemple pour un projet quelconque enregistré, on a plusieurs couples suivant les domaines et les niveaux de détail.

a) Sélection du projet

La première étape pour la manipulation des données d'une base multi-représentations consiste à sélectionner par l'utilisateur un sous-ensemble appelé projet de cette base de donnée. Comme le montre la figure 54, un projet contient :

Projet
Niveau
Domaine
Couche

Figure 53 : Composante d'un projet

Cette étape s'effectue au moyen de la commande *Charger Projet* contenant un ensemble de couples $R(r, d)$.

Définition :

Soit B un projet, et $R1(r1, d1), R2(r2, d2), \dots, Rn(rn, dn)$ des couples de données appartenant à la base de données globale B . le format de la commande *Ouvrir Projet* est le suivant :

$$\text{Ouvrir Projet } (B, \{R(r, d)\})$$

Cette commande permet à l'utilisateur de charger des données et ainsi de rendre visible les différentes représentations.

Exemple :

La commande *Ouvrir Projet (Monti Revincu, $\{R_{\text{niveau}1}^{\text{domaine}1}(r, d)\})$* , charge le contenu du projet *Monti Revincu* pour le domaine N° 1 et à un niveaux de détail N° 1. Seules les données chargés dans le projet seront accessibles. Après avoir charger le projet, l'utilisateur peut ensuite naviguer entre les différentes représentations et applique différentes requêtes.

L'étude des besoins des utilisateurs a mis en évidence l'importance de pouvoir manipuler simultanément les multiples représentations d'un même domaine. Ainsi l'utilisateur charge au début un projet qui contient plusieurs représentations d'où la nécessité de définir après un niveau de détail de la représentation de début du navigation. Après avoir charger le projet, l'utilisateur aura à spécifier le niveau de détail de la représentation voulue.

Par exemple, l'utilisateur charge un projet avec comme nom du domaine *Archéologie* et niveau de détail *N°1*. Suite à ce changement, la couche ou la représentation s'affichera.

b) Sauvegarde du projet

Après manipulation sur les données, pour sauvegarder le projet, on a la commande *Sauvegarder Projet* qui sert à enregistrer le projet final. Pour cela on aura besoins d'introduire le nom du domaine et le niveau de détail ;

Sauvegarder Projet
Donner Nom domaine :
Donner Niveau de détail :

Figure 54 : Sauvegarde du projet

Définition :

Soit $P_{nouveau}$ un nouveau projet, et $R_{nouveau}(r_{nouveau}, d_{nouveau})$, un couple de données. Le format de la commande *Sauvegarder Projet* est la suivante :

$$Sauvegarder\ Projet\ \{ R_{nouveau}(r_{nouveau}, d_{nouveau}) \}$$

Cette commande permet à l'utilisateur de sauvegarder le nouveau projet dans la base de données.

c) Création du projet

L'utilisateur peut créer un nouveau projet en fonction des données existantes à sa disposition. Il choisit le nouveau domaine ainsi que le niveau de détail comme le montre la figure 56 .

Créer Projet
Donner nom domaine :
Donner niveau de détail :

Figure 55 : Création Projet

Dans notre cas d'étude, le nombre maximum de domaine est de trois. Pour le nombre des niveaux de détail à créer, le nombre n'est pas limité, mais il doit suivre un ordre du moins détaillé vers le plus détaillé.

Définition :

Soit P_C un projet à créer, et $R(r_C, d_C)$ couple de données à créer. Le format de la commande *Créer Projet* est le suivant :

$$\text{Créer projet } (P_C \{ R_{N^\circ \text{Niveau}}^{\text{Domaine}}(r, d) \})$$

Cette commande permet à l'utilisateur de créer un projet, avec la spécification du nom du domaine et de niveau de détail.

Exemple :

Création d'un projet du domaine Archéologie.

La commande :

$$\text{Création Projet } (P_C \{ R_{3\text{niveaux}}^{\text{Archéologie}}(r, d) \})$$

Nom du domaine : Archéologie

N° du niveau : 3

$R(r, d)$: représentation géographique sous forme de couche r et de donnée non-géographique d .

2.3.2 Aspect navigation

Dans ce paragraphe, nous présentons la navigation entre les différentes représentations et l'utilisation des requêtes telles que les fonctions de transferts. Après avoir chargé un projet et défini un niveau de détail, l'utilisateur peut naviguer entre les représentations à l'aide de différentes commandes.

a) Navigation automatique

Pour une navigation automatique d'un niveau à un autre automatiquement la commande navigation permet de faire cette manipulation. La navigation se fait soit dans un ordre croissant ou décroissant de niveaux de détail.

Définition :

Soit r , une représentation à un niveau de détail connu, le format de la commande *Navigation* est le suivant :

$$Navigation \{N (r_{niveau=n}) = \begin{cases} (r_{n+1}) \\ Ou \\ (r_{n-1}) \end{cases} \quad \text{Tel que } n \geq 1$$

Cette commande permet de se déplacer entre les niveaux d'abstraction automatiquement.

b) Fonctions de transfert

L'autre type de navigation est relatif à l'utilisation des fonctions de transfert. Ces dernières sont des contraintes ou des opérateurs qui agissent de sorte à sélectionner des représentations. Chaque représentation est affichée selon ces contraintes. La liste des fonctions de transfert se compose essentiellement d'opérateurs de généralisation ainsi que des contraintes définies par défaut ou ajoutées par l'utilisateur.

c) Opérateur de navigation :

Représentation Unitaire U : Cet opérateur permet de sélectionner la représentation de base ou la représentation mère d'un domaine identifié.

Définition :

Soit R_U la représentation unitaire d'un domaine quelconque, alors on a l'opérateur :

$$U = R_U(r, d)$$

Il existe une et une seule représentation unitaire pour chaque domaine, à partir de laquelle dérivent toutes les autres représentations.

Opérateur de sélection : Cet opérateur sélectionne un sous-ensemble de représentations de même type d'objet dans la base de données globale d'un domaine.

Définition :

Soit S , l'opérateur de sélection R , l'ensemble des représentations du domaine D et O est un critère de sélection, la syntaxe de l'opérateur de sélection est :

$$\text{Sélection } S [R] / O$$

Cet opérateur produit un sous-ensemble de représentations par rapport au critère O .

Exemple :

On veut sélectionner dans le domaine Archéologie toutes les représentations ayant uniquement les Dolmens D comme objets représentés

$$\text{Sélection } S[R] / \text{Dolmens.}$$

La sélection alors choisit toutes les représentations qui ont des Dolmens comme objets.

Une autre application, mais sous forme de proposition à développer ultérieurement, consiste à trouver toutes les représentations qui ont des Alignements Menhirs orientés vers une direction bien déterminée.

Sélection S[R] / Menhirs \longrightarrow *Sélection S [Menhirs]/ Orienté Est.*

Opérateur d'élimination : L'élimination est une opération qui effectue aussi une sélection sur les attributs d'objets, elle supprime les attributs qui ne satisfont pas la contrainte associée à l'opérateur. L'utilisateur procède par élimination des représentations non nécessaires au cas d'étude. On utilise l'élimination pour avoir un accès pertinent à l'information géographique.

Définition :

Soit E l'opérateur d'élimination, R l'ensemble des représentations pour un domaine quelconque D et N un critère d'élimination. La formule de l'opérateur d'élimination est :

Elimination E[R] / N

Cette opération produit un sous-ensemble de représentation sélectionnée suivant des critères d'élimination.

Exemple

Dans le même exemple que celui de l'opérateur de sélection, on veut éliminer toutes les représentations ayant des objets de type Dolmens.

Elimination S[R] / Dolmens

L'opération élimine toutes les représentations où les Dolmens sont représentés.

Opérateur Zoom : Dans GIS-3A, la commande zoom est utilisée de deux manières différentes. La première est un Zoom normal, comme si on fait un agrandissement brut de l'image (Photocopieuse). La seconde application est le zoom dit intelligent. Dans ce cas la navigation se fait entre représentations de tel sorte à ce que pendant le zoom, il n'y aura pas de déformations d'objets sur les représentations du fait que l'on utilise la multiple représentations pour la navigation.

Exemple d'un Zoom intelligent sur une zone spatiale :

En s'inspirant des travaux de [VAN01], nous expliquons dans cet exemple une proposition sur le zoom intelligent. Tout d'abord nous donnons quelques définitions :

Définition 1 :

Pour effectuer, le zoom sur une zone spatiale précise, il faut diviser la représentation la plus détaillée en plusieurs niveaux de détail comme sur le schéma de la figure 57.

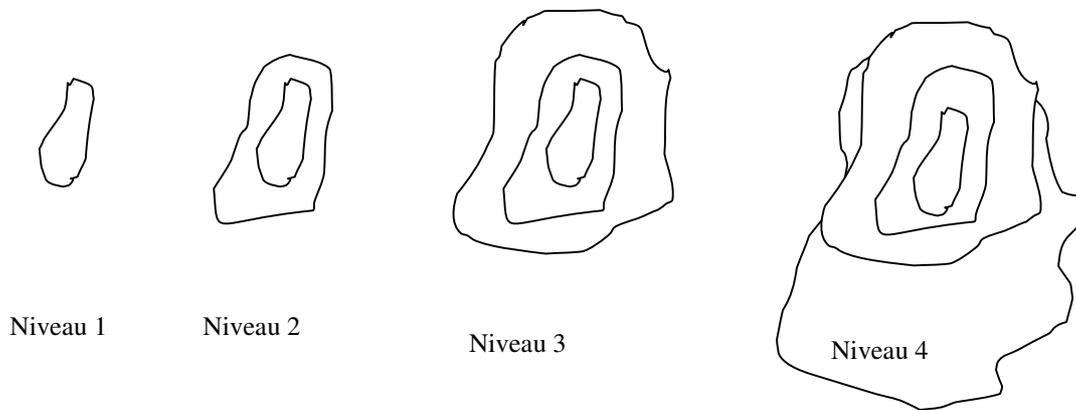


Figure 56 : Sous-représentations et niveaux de détail

Définition 2 :

Chaque niveau est représenté par une ou plusieurs sous-représentations de la représentation mère de niveau 4. Le zoom-in et le zoom-out ne s'effectuent pas de la même façon. Pour faire un zoom intelligent par zone spatiale, les différentes sous-représentations ont des niveaux de détail distincts et l'union de toutes ces représentations donnera la représentation globale de niveau 4.

Exemple : soit R une représentation et $R1$, $R2$, $R3$ ses sous-représentations alors

$$R = R1 \cup R2 \cup R3$$

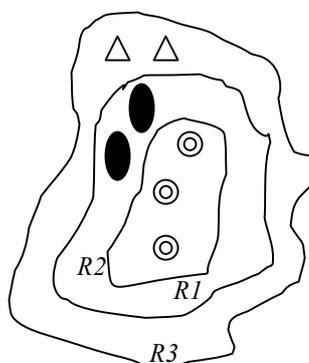


Figure 57 : Zoom-in de R

La figure 58 montre un Zoom-in de la représentation R

Définition 3 :

Pour un zoom-in à partir de la représentation R, on procède de telle manière à ce qu'il ne restera que les deux sous représentation $R1 + R2$. Ainsi , on à masqué la représentation R3 et pour le zoom suivant, la représentation R2 sera masquée et ainsi de suite. La figure 59 présente un zoom-in sur la représentation R2 de l'exemple précédent.

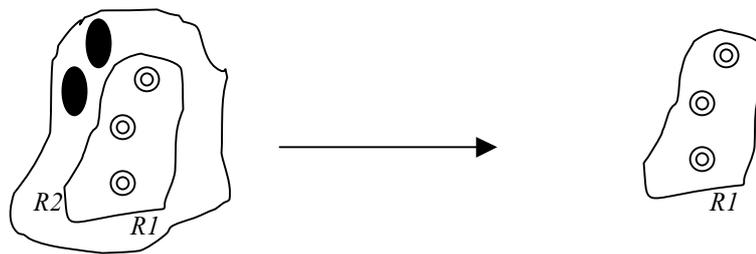


Figure 58 : Zoom-in

Définition 4 :

Pour un zoom-out, la navigation est de types multi-représentations avec des liens de relations entre $R1$ et $R2$ puis entre $R2$ et $R3$. La figure 60 décrit le zoom-out entre les représentation $R1$, $R2$ et $R3$.

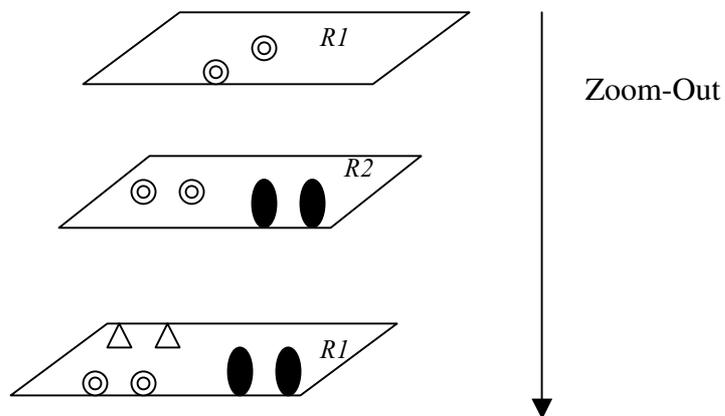


Figure 59 : Zoom-Out

2.4 Exemple d'application :

La figure 61 illustre les différents boutons de l'interface utilisateur correspondant aux concepts présentés au chapitre 2. Cette figure met aussi en évidence une représentation de la localisation du site Monte Revincu au niveau le plus haut. Nous appellerons par la suite cette première représentation R1 (niveau 1, Domaine archéologie). Les figures 61 et 62 mettent en évidence le passage entre niveaux d'abstraction. Nous voyons sur la figure 2 que la première représentation R1 est composée d'une entité spatiale de type point (coordonnées x et y) et modélise pour les archéologues un complexe archéologique. Cependant, afin de pouvoir étudier ce complexe à un niveau de détail plus bas (niveau 2), l'utilisateur peut, en utilisant la décomposition, générer la représentation R2 donnée en figure 62 (niveau 2, domaine archéologie) composée de trois entités spatiales de type point. Ces trois points peuvent être décomposés à un niveau plus bas (niveau 3) pour illustrer les types de structures composant chacun de ces sites (dolmens ou coffres). Bien sûr, l'utilisateur peut, s'il le désire, affiner le niveau de détail en générant la représentation R3 (niveau 3, domaine archéologie) à partir de la représentation R2 en cliquant sur le bouton « inférieur ». La figure 63 illustre cette décomposition. L'utilisateur peut aussi, dans le cadre de ses études, effectuer un passage automatique de la représentation R2 vers la représentation R1 en utilisant l'agrégation (bouton « supérieur »). Le passage entre niveaux est réalisé à l'aide de fonctions de transfert qui s'exécutent automatiquement lors d'une demande de modification du niveau d'abstraction. Ces fonctions de transfert sont définies par les utilisateurs : dans le cas de l'application considérée, ces fonctions consistent à évaluer à partir des localisations de sites à l'aide d'un GPS (niveau 3) la localisation des sites au niveau plus haut (niveau 2) et ainsi de suite.

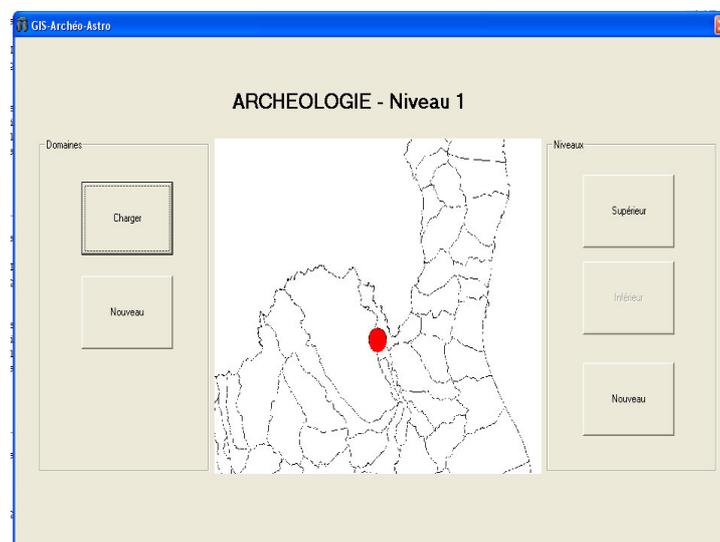


Figure 60 : Localisation du site du Monte Revincu (Représentation R1)

Nous voyons aussi sur chaque figure (61, 62, 63), la manipulation de données mise en évidence par les boutons « charger » et « nouveau » permettant de gérer des représentations. Nous devons de plus noter que les sites au niveau le plus élevé sont indiqués par un point rouge, au niveau 2 par des carrés rouge (voir figure 62). Enfin au niveau 3 plusieurs types de points sont disponibles correspondant à des dolmens (tombes néolithiques ouvertes sur un coté) ou des coffres (tombes fermées des 4 cotés). Les dolmens sont repérés par un symbole rouge rappelant la forme d'un dolmen tandis que les coffres sont représentés par un symbole bleu ayant la forme d'un coffre.

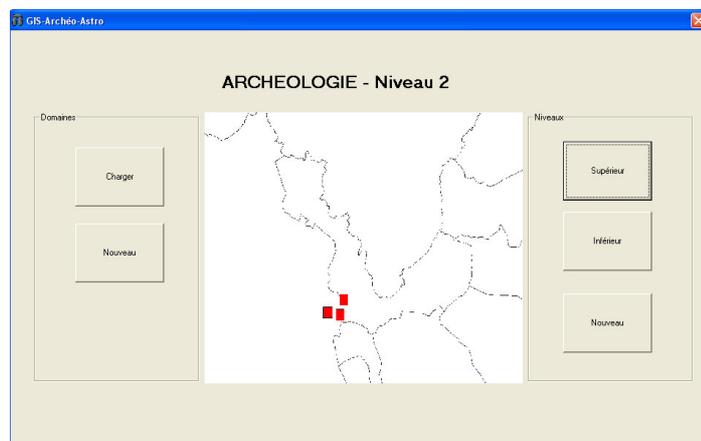


Figure 61 : Décomposition du site en 3 sous-sites (Représentation R2)

Au niveau 3, en changeant de domaine (passage du domaine « Archéologie » au domaine « Astronomie »), l'utilisateur peut avoir accès aux fonctions de traçage et calcul de valeurs astronomiques liées aux entités du niveaux 3.

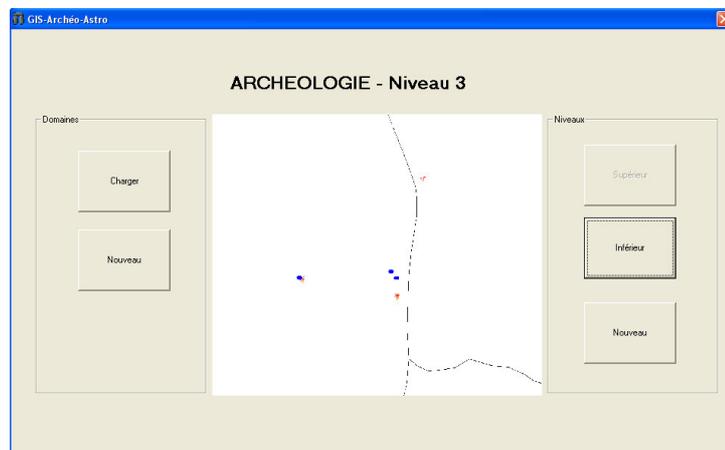


Figure 62 : Description détaillée des 3 sites (Représentation R3)

Le principe de définition des niveaux ainsi que des représentations associées est bien sûr semblable dans le cadre du domaine anthropologie. Dans ce cas les entités spatiales de base sont des polygones et représentent des toponymes associés à des parcelles de terrains.

3 Conception Orientée Objet du logiciel GIS-3A

Dans cette partie, nous décrivons le langage orienté objet UML [BOO et all.96]. L'orienté Objet est un outil modélisant la méthodologie pour faciliter la conception et la construction des systèmes complexes de différentes composantes. Il fournit les concepts et les outils qui permettent à des développeurs de modéliser et représenter le monde réel aussi fidèle que possible.

L'approche orientée objet est caractérisée par des objets et des mécanismes d'abstraction, chaque objet contient des méthodes qui décrivent son comportement. L'analyse orienté objet identifie les conditions du système en termes d'objet et de classes et ces résultats fournissent un modèle pour le processus de la conception orientée objet. Dans cette partie, nous allons utiliser l'UML. L'UML est un langage pour indiquer visualiser et documenter les composantes d'un système orienté objet.

3.1 Modélisation en UML

L'UML fait la distinction entre les notions du modèle et le diagramme. Un modèle contient tous les éléments du système et le diagramme est une visualisation particulière de certains types d'éléments d'un modèle.

Le diagramme de classes est le noyau d'un modèle UML. Il montre les abstractions importantes du système et comment elle sont reliées entre elles. Le schéma de la figure 64 montre le diagramme de classes pour la classe point.

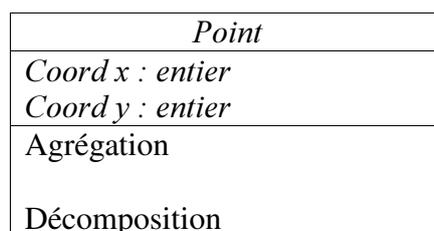


Figure 63 : Classe point

Les diagrammes des classes peuvent permettre de définir la distribution des objets dans les systèmes.

Nous définissons les concepts suivants :

- Les **classes d'applications** : Ces classes permettent de regrouper les diagrammes de classe par application. Le concepteur peut ainsi décrire la distribution des informations, par exemple, les aspects de d'initialisation pour le chargement d'un projet existant, comme le montre la figure 65.

<i>Initialisation</i>
<i>Niveau</i> <i>Domaine</i>
<i>Charger</i> <i>Créer</i> <i>Sauvegarder</i>

Figure 64: Classe application

- Les **classes navigation** : Permettent de décrire les méthodes de navigation entre les différentes classes représentation. Elle décrivent les relations entre les applications communicantes. La figure 66 montre une classe navigation avec les méthodes zoom-in, zoom-out et changer de niveau.

<i>Navigation</i>
<i>Nom</i>
<i>Zoom-in</i> <i>Zoom-out</i> <i>Changer de niveau</i>

Figure 65 : Classe navigation

- Les **classes représentation** : Permettent de décrire toutes les classes représentations avec niveau de détail et nom de domaine, comme le montre la figure 67.

<i>Représentation</i>
Domaine Niveau

Figure 66 : Classe représentation

- Les **relations** : Les diagrammes de classes représentent les rapports entre les classes dépendantes, les relations entre représentations sont des relations d'héritage qui définissent aussi le classement de chaque représentation par rapport à sa voisine. La figure 68 décrit la classe représentation et les relations précède et succède entre deux représentations.

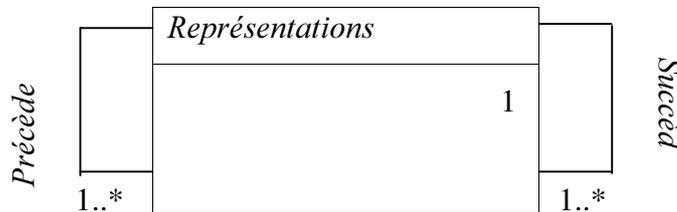


Figure 67 : Relation entre représentations

1..* : Une représentation succède à une ou plusieurs représentations.

Elles définissent aussi l'appartenance d'une représentation à un domaine comme le montre la figure 69.

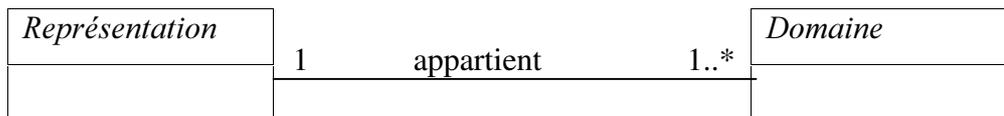


Figure 68 : Appartenance à un domaine

1..* : Une représentation succède à une ou plusieurs représentations.

- Les classes **Calcul Déclinaison** : permettent les calculs astronomiques. Le calcul de la déclinaison pour un objet connu se fait avec l'introduction de paramètres nécessaires à cette application tel que la latitude, la hauteur, etc. comme le montre la figure 70.

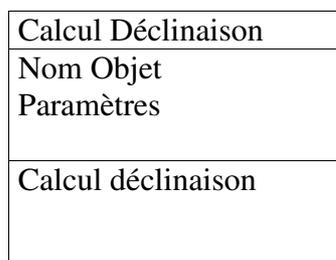


Figure 69 : Calcul de la déclinaison

3.2 Vue conceptuelle du logiciel GIS-3A

Nous décrivons dans ce paragraphe un schéma simplifié des concepts de notre modèle. Il représentera les différentes classes ainsi que les relations entre ces classes. Notons que dans la figure 71, nous montrons uniquement les plus importantes classes de la structure logicielle GIS-3A :

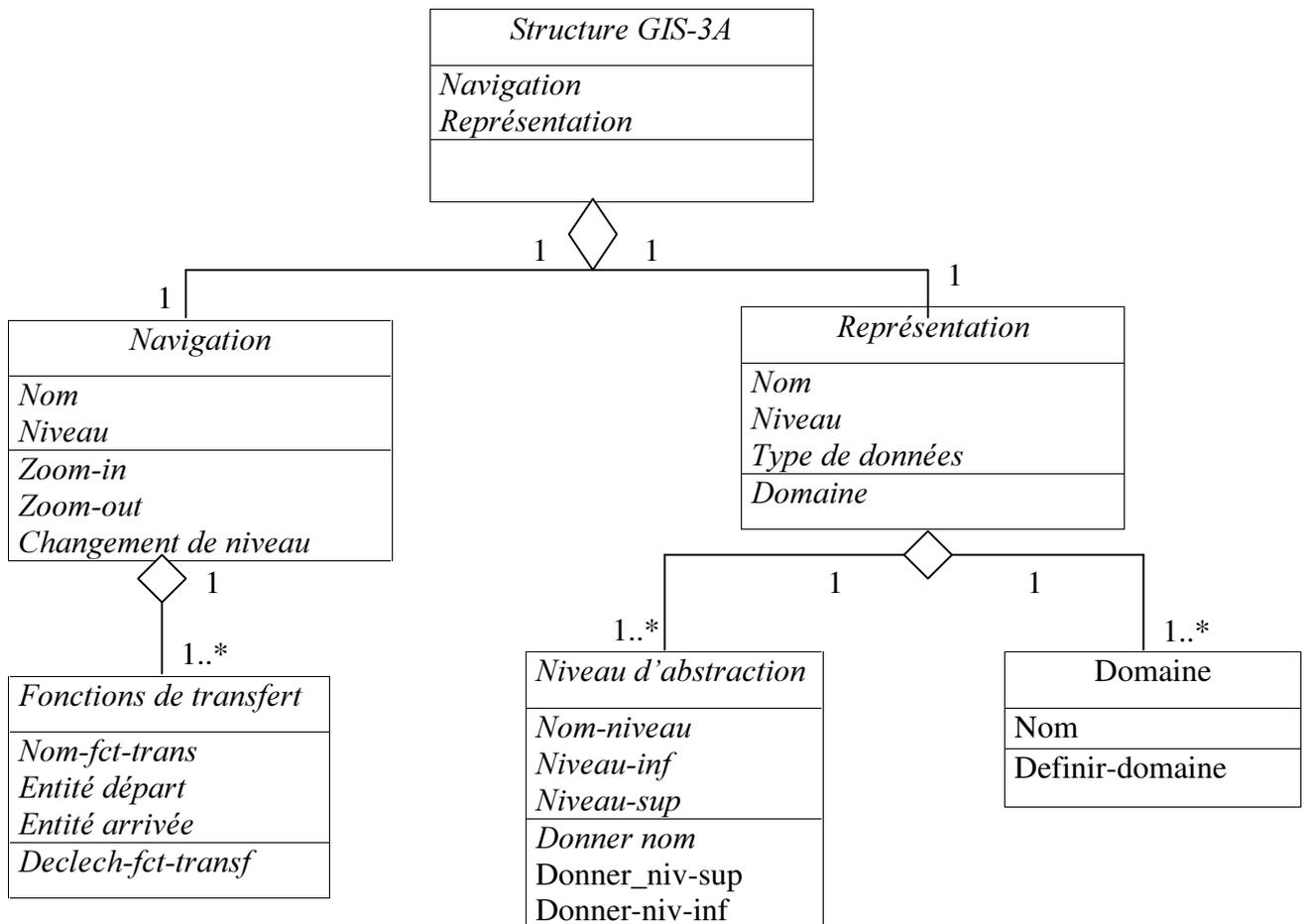


Figure 70 : Représentation à un haut niveau du système logiciel

4 Principale classe de GIS-3A

Nous présentons brièvement dans cette section les principales classes qui ont permis l'implémentation orientée objet du logiciel GIS-3A [KHO et all.05] qui est détaillée et illustrée sur un exemple d'application concret dans la partie suivante.

Nous mettons en particulier en évidence dans cette section comment permettre à l'utilisateur :

- de définir autant de domaines et niveaux d’abstraction nécessaires dans le cadre d’une application donnée?
- d’associer une représentation spatiale donnée à un domaine et un niveau d’abstraction?
- de définir des fonctions de transfert d’information qui décrivent les passages entre niveaux d’abstraction pour un domaine donné (décomposition et agrégation)?
- de faire référence à des fonctions de transfert prédéfinies qui sont offertes par le système logiciel **GIS-3A**.
- d’effectuer des études géométriques entre les éléments spatiaux d’une représentation donnée?
- d’effectuer des calculs astronomiques associés à des éléments spatiaux d’une représentation donnée et de les visualiser?

Par ailleurs, On peut distinguer quatre étapes dans le cadre de l'utilisation du logiciel **GIS-3A** :

- Étape 1 : l'utilisateur peut définir les domaines et les niveaux d'abstraction devant être manipulés. Pour chaque domaine, l'utilisateur devra définir l'ordre de classification des niveaux dont il a besoin.
- Étape 2 : l'utilisateur doit définir les entités spatiales élémentaires devant appartenir aux différents niveaux ainsi qu'éventuellement les fonctions de transferts entre niveaux ou faire référence à des fonctions de transfert prédéfinies.
- Étape 3 : l'utilisateur peut déclencher des fonctions de traçage géométriques entre les entités spatiales définies à l'étape 2.
- Étape 4 : l'utilisateur peut déclencher des fonctions de calcul archéoastronomiques et de visualisation de ces résultats associés à des entités spatiales définies à l'étape 2.

Les étapes 1 et 2 concernant l'instanciation des classes suivantes : APPLICATION, NIV-ABST, ENTITE, TRANSFERT. Nous présentons brièvement pour chacune des quatre classes les principaux attributs et les principales méthodes :

- La classe APPLICATION permet à un utilisateur d'initialiser pour une application donnée les niveaux d'abstraction, les domaines, les entités nécessaires à la résolution de problèmes dans le cadre de l'application donnée.

Classe APPLICATION

Attributs : nb-niv-abs, liste-ord-niv-abs, nb-domaines, noms-domaines

Méthodes : def-niv-abs, def-domaines

– La classe NIV-ABST permet de décrire les niveaux d’abstraction impliqués dans une application donnée

Classe NIV-ABST

Attributs : nom-niv, niv-sup, niv-inf

Méthodes : donner-nom, donner-niv-sup, donner-niv-inf,

– La classe ENTITE décrit un élément spatial à un niveau d’abstraction donné et à un domaine donné. Nous mettons en évidence les attributs *decomp* et *agreg*. La valeur de l’attribut *decomp* correspond à la liste des entités décrivant l’entité considérée à un niveau d’abstraction inférieur, tandis que l’attribut *agreg* correspond à l’entité au niveau supérieur. Enfin, l’attribut *transfert* met en évidence le nom des objets instances de la classe TRANSFERT qui permettent de réaliser la décomposition et l’agrégation.

Classe ENTITE

Attributs : niv-abstr, domaine,

Entité point : coord-x, coord-y, coord-z (altitude), angle-azimut, angle-hauteur, angle-declinaison,

Entité ligne : plus de deux points

Entité polygone : supérieur a deux points

decomp, agreg, transfert

Méthodes : affich-cercle, affich-polygone, affich-ligne, affich-azimut, affiche-hauteur, affich-decl, calcul-decl

– La classe TRANSFERT permet de décrire les fonctions de transfert entre niveaux d’abstraction. Les entités impliquées par une décomposition ou agrégation sont énumérées dans les attributs *entité-depart* et *entité-arrivée*. Le nom de la fonction de transfert à déclencher pour réaliser la décomposition ou l’agrégation est positionné dans l’attribut *nom-fct-de-trans*. Cette fonction est en général définie par l'utilisateur, mais elle peut aussi faire référence à une fonction prédéfinie (exemple algorithmes classiques de généralisation [RUA 99])

Classe TRANSFERT

Attributs : entités-départ, entités-arrivé, nom-fct-de-trans,

Méthodes : déclch-fct-trans

Les étapes 3 et 4 concernant la définition de méthodes associées à la classe ENTITE. Ces méthodes correspondent aux différentes fonctions de traçage géométrique (AFFICH-CERCLE, AFFICH-POLYGONE,,AFFICH-LIGNE, etc.) aux calculs astronomiques (CALCUL-DECL) et des méthodes de visualisation de données archéoastronomiques (méthodes AFFICH-AZIMUT, AFFICH-ALTITUDE, AFFICH-HAUTEUR, AFFICH-DECL).

5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons développé notre proposition de manipulation des données multi-représentations. Nous avons montré les possibilité de traiter les informations sous une méthode orientée objet, ensuite nous avons proposé une méthode de zoom intelligent pour la réalisation des opérations zoom-in et zoom-out sur une zone spatiale sélectionnée par l'utilisateur. Nous sommes partis d'une analyse des besoins qui nous a permis de justifier les choix de nos objectifs. Nous avons ensuite défini comment accéder à une représentation de la base de données en donnant son domaine d'appartenance et son niveau de détail. Nous proposons ainsi aux utilisateurs la possibilité de manipuler les données de la base des données avec des opérateurs algébriques classiques intégrant la multi-représentations et la possibilité de naviguer parmi les représentations multiples grâce au zoom intelligent. Dans le chapitre suivant, nous allons présenter des exemples d'application plus détaillée ainsi que l'implémentation et la validation de GIS-3A sur un cas archéologique et archéoastronomique sur le site de Monti Revincu.

Chapitre V Implémentation & exemple d'application

Nous avons proposé dans le chapitre précédent la conception orientée objet ainsi que les différents aspects et fonctionnalités du logiciel à réaliser. Les différentes fonctionnalités ont été implémentées et sont présentées dans ce chapitre. La validation de notre système logiciel a été effectuée dans le cadre de l'étude des mégalithes de Monte Revincu qui a été développée en collaboration avec la DRAC (Direction Régionale des Affaires Culturelles de la Corse). L'étude nous a permis de bien cerner les différents problèmes rencontrés par les spécialistes en SHS.

Nous présentons dans la première section l'implémentation du logiciel GIS-3A. Ensuite, nous illustrons cette implémentation sur l'exemple du site du Monté Revincu. Dans la troisième section, nous présentons des études archéoastronomiques en montrant certains résultats. La section 4 est consacrée à la réalisation d'une vue panoramique en 3D en utilisant l'outil SIG. Enfin, ce chapitre se termine par une conclusion.

1 Implémentation de GIS-3A

Pour la réalisation du prototype du logiciel *GIS-3A* développé en Visual Basic, nous avons choisi de valider les concepts précédents explicités aux chapitres II et III en utilisant le langage Visual Basic (VB) pour deux raisons principales :

(i) l'intégration des concepts dans le SIG ArcView est facilitée par l'utilisation de VB puisque la personnalisation d'ArcView repose sur l'utilisation de VBA (Visual Basic for Application). Le Visual Basic est une évolution des basics précédents de Microsoft (Basica, GwBasic, QBasic) qui permet de créer des applications fenêtres et de pratiquer donc la programmation événementielle,

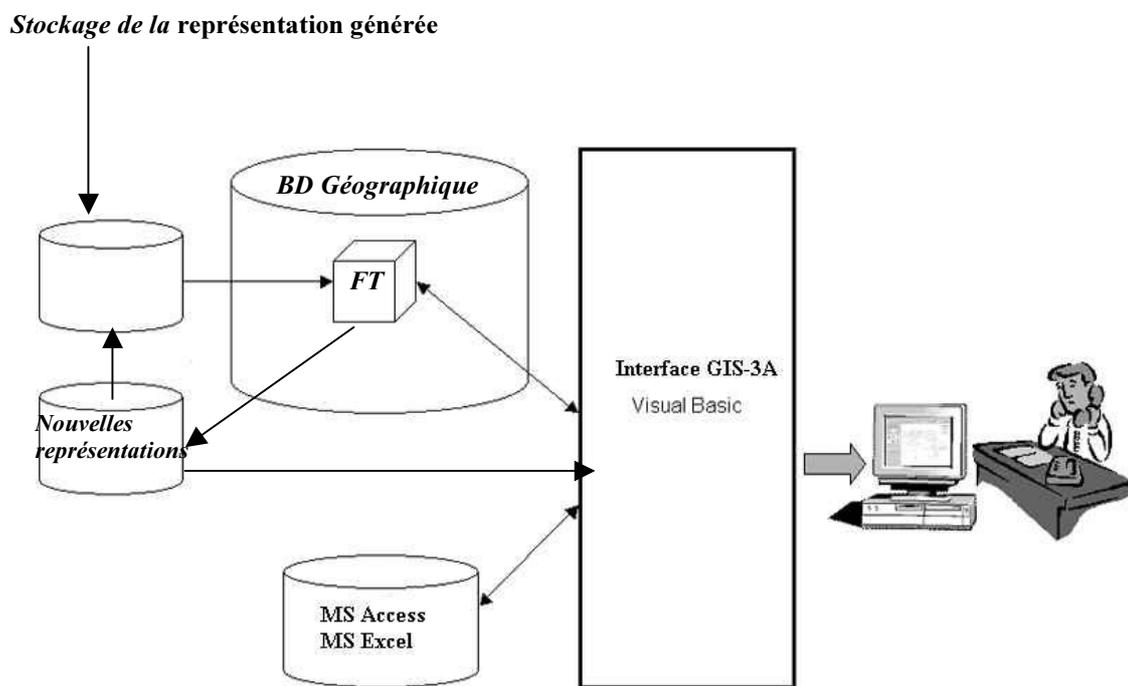
(ii) l'utilisation de VB convient tout à fait au besoin en terme d'ergonomie nécessaire au développement d'interfaces dédiées à des non-informaticiens appartenant à des domaines issus des SHS tels que des archéologues ou des anthropologues.

Toutes les spécifications énoncées dans le chapitre précédent ne sont pas encore implémentés mais nous vous présentons un premier prototype, ainsi que les différents développements à prévoir pour faire évoluer le logiciel. Un second exemple sera présenté sur le domaine archéoastronomique en fin de partie.

La plate forme logicielle GIS-3A est liée à deux bases de données, comme le montre la figure 72)

- 1- Représentations géographiques (cartes)
- 2- Tables de données (MS Excel)

Nous avons de plus mis en évidence sur la figure 72, les notions de fonctions de transfert notées FT qui ont été détaillés dans la section 2.2.1.



FT : Fonctions de Transfert

Figure 71 : Architecture de prototype GIS-3A

Nous mettons en évidence dans cette partie comment un utilisateur intéressé par les trois domaines : (archéologie, astronomie, anthropologie) peut définir sans problème les représentations d'une même zone spatiale selon différents domaines et à des niveaux d'abstraction différents. De plus, il peut visualiser, naviguer et bien sûr générer une représentation à partir d'une autre pour un domaine donné. Nous avons porté une attention

particulière sur les notions d'ergonomie afin de rendre l'utilisation des concepts développés assez simples pour des non-informaticiens (archéologues, astronomes, anthropologues).

Pour cela, nous montrons dans cette partie comment l'utilisation du multi-fenêtrages et des boutons facilite grandement la manipulation des domaines et des niveaux d'abstraction. Ce souci a été aussi présent pour les fonctions de visualisation telles que le traçage de figures géométriques et le calcul de mesures astronomiques (déclinaison). La validation a été réalisée à partir d'un exemple concret concernant les sites archéologiques du Monte Revincu.

2 Exemple d'application

2.1 Présentation du site du Monte Revincu

2.1.1 Situation géographique

Le site du Monte Revincu est situé dans la région des *Agriate* au Nord de la Corse. Cette contrée semi-désertique est délimitée, au sud par le massif du Tenda qui culmine à plus de 1500 m d'altitude, à l'ouest par la vallée de l'Ostriconi, à l'est par la vallée de l'Aliso, enfin elle est bordée au nord par une côte rocheuse découpée, baignée par la Méditerranée. Le paysage est ici assez contrasté, il se compose de petites vallées étroites ou de larges dépressions. La figure 73 montre la localisation du Monte Revincu.



Figure 72 : Localisation de Monté Revincu

Du point de vue géologique, les *Agriate* appartiennent au massif du Tenda de forme sub-triangulaire situé au contact des granitoïdes de la nappe de Balagne à l'ouest et des schistes lustrés de la Corse Alpine à l'est. Cette lithologie exerce une grande influence sur le relief et donne un paysage aux crêtes anguleuses à l'ouest et aux reliefs plus arrondis à l'est.

A la limite orientale des *Agriate*, le site du Monte-Revincu tient son nom d'une montagne culminant à près de 356 mètres dominant la pénéplaine de Casta au sud et le golfe de Saint-Florent au nord. Le site préhistorique est en fait localisé au pied de cette masse minérale, sur le promontoire « étagé » de la *Cima di Suarello* à environ trois quart d'heure de marche de la Route départementale RD 81. En raison de nombreux incendies, il est couvert d'une végétation dégradée constituée de maquis ras et peu dense (un mètre de haut maximum) essentiellement formée de ciste et d'arbousier, qui prennent racine sur un sol pauvre.

2.1.2 Répartition des monuments

Ce gisement comprend une quarantaine de structures réparties sur quatre secteurs, dont trois dolmens, au moins quatre coffres et trente-cinq aménagements rectangulaires.

- **Le secteur I**, dit secteur de la *Casa di l'Orcu (maison de l'Ogre)* est situé sur une petite éminence à l'extrémité de la *Cima di Suarello*. Il présente un beau dolmen (classé au titre des monuments historiques) encore en élévation sur une importante plate-forme de soutènement. Derrière son chevet, deux dalles perpendiculaires, pourraient être les vestiges d'une sépulture antérieure ou annexe. À 20 m au Sud, se trouvent les restes d'un coffre inclus dans une couronne de pierres (coffre "C"). la figure 74 montre le dolmen Lurcu situé dans le secteur I.



Figure 73 : Dolmen Lurcu

- **Le secteur II**, dit de la *Casa di l'Urca* (*maison de l'Ogresse*), est situé dans le thalweg de *Tozzola*, entre la pente méridionale du *Monte Revincu* et la partie septentrionale de la *Cima di Suarello*. Ce secteur présente deux coffres ("A" et "B") et trois structures circulaires dominées par un dolmen (*Casa di l'Urca*) qui a conservé son tumulus, comme le montre la figure 75.



Figure 74 : Dolmen Orca

- **Le secteur III** est situé dans la partie centrale de la *Cima di Suarello*. Il est circonscrit par endroit par des blocs *anthropo-erratiques* (de un à trois mètres de long) ou par des petits blocs bien équarris. Ce secteur comprend au moins une tombe en coffre (“D-D”) reconnue et huit autres probables. Il contient aussi 25 grandes structures de plan quadrangulaire. Leur bonne conservation permet d’en lire le plan au sol.

- **Le secteur IV** est localisé dans la partie sommitale du *Monte Revincu*, on y trouve une structure rectangulaire compartimentée, un menhir probable encore dressé et les vestiges d’une tombe mégalithique qui semblent correspondre à un dolmen. La figure 78 montre la structuration géographique des dolmens sur le site.

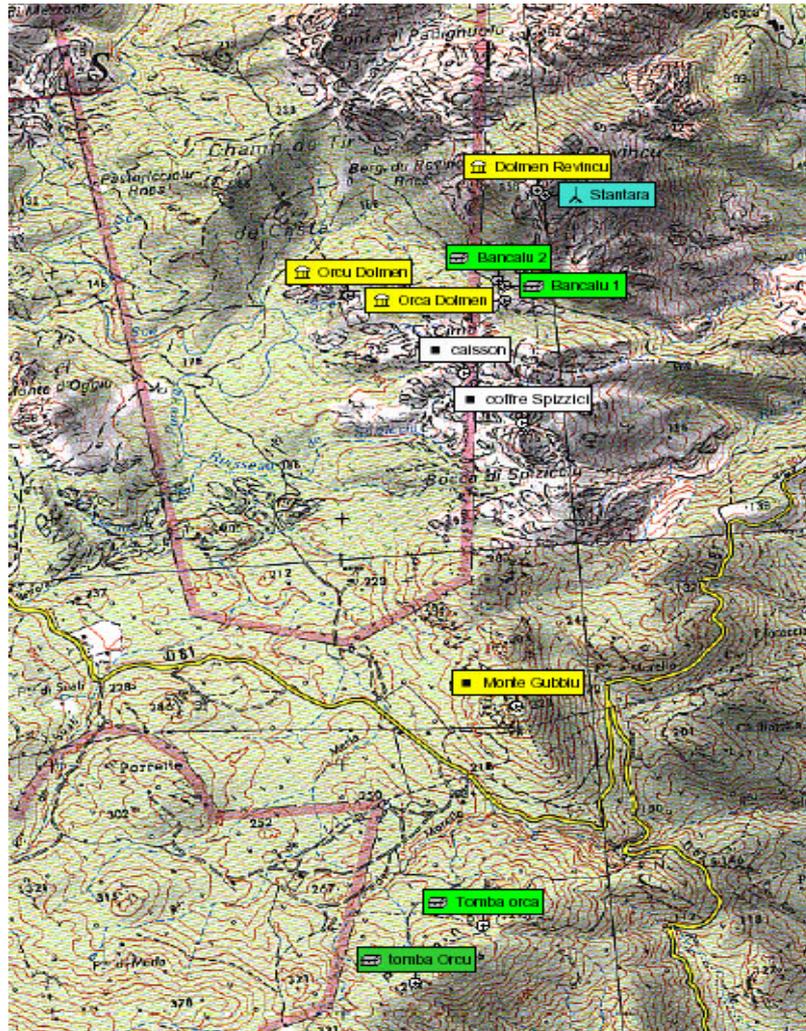


Figure 75 : Situation géographique des dolmens sur le site

La figure 77 met en évidence le paysage en 3D ainsi que les 3 sites funéraires du Monte Revincu (appelés Lurcu, L'Orca et Monte Revincu). Chacun des ces 3 sites est lui-même composé d'une ou plusieurs tombes mégalithiques.

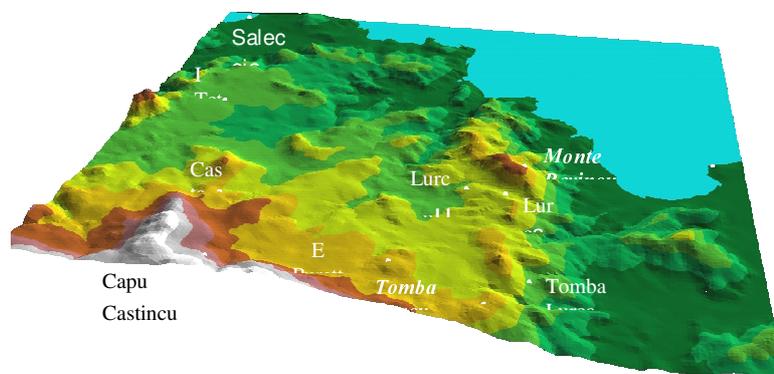


Figure 76: Vue 3D des Agriate, Corse du Nord

2.2 Etude de la multi représentations

Nous présentons dans cette partie, un exemple de la navigation multi-représentations appliquée au site de Monti Revincu. L'interface est réalisée sous Visual Basic, l'utilisateur affiche les représentations suivant le domaine, le niveau de détail et la fonction de transfert choisie pour la navigation. Dans cet exemple, nous présentons le logiciel dans un état très simplifié en l'état actuel de l'avancement de sa conception.

L'utilisation des commandes de navigation telles que la commande de zoom intelligent ou de zoom physique permet le déplacement entre les représentations, par exemple de la représentation R1.1 vers la représentation R1.1.2 (Figure 78). Le schéma suivant montre la hiérarchie des représentations à partir d'une représentation mère.

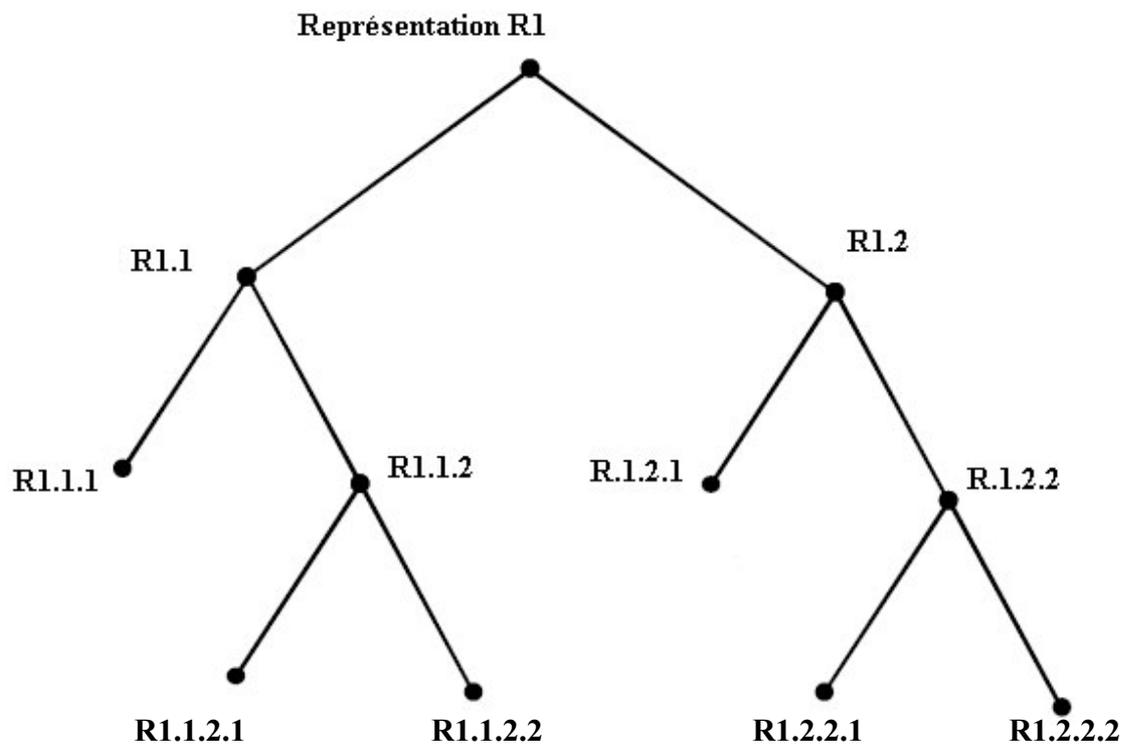


Figure 77 : Navigation inter-représentations

L'interface utilisateur du GIS-3A simplifie l'utilisation des méthodes complexes pour la navigation entre représentation et la représentation des données spatiales, comme le décrit la figure 79. L'utilisateur peut choisir entre les deux sortes de navigation proposée.

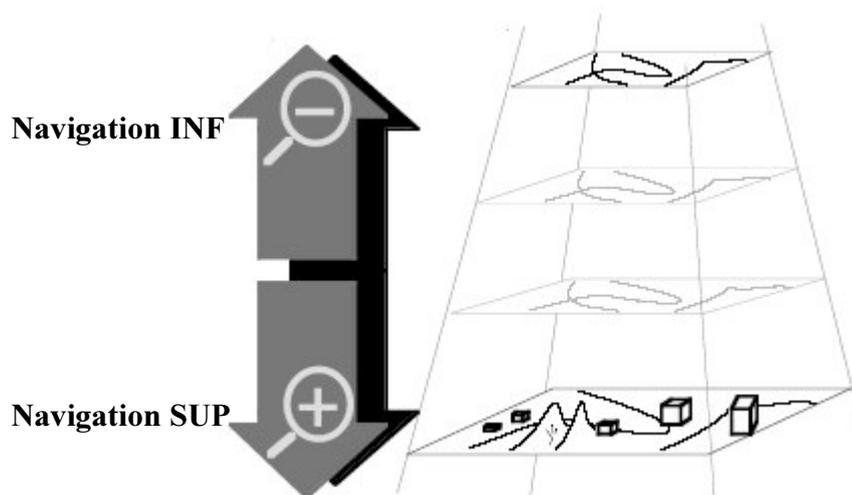


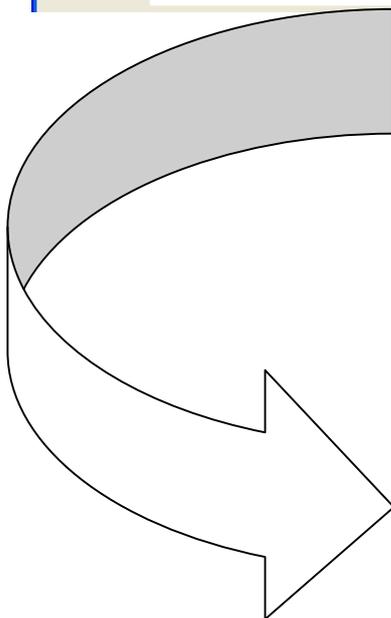
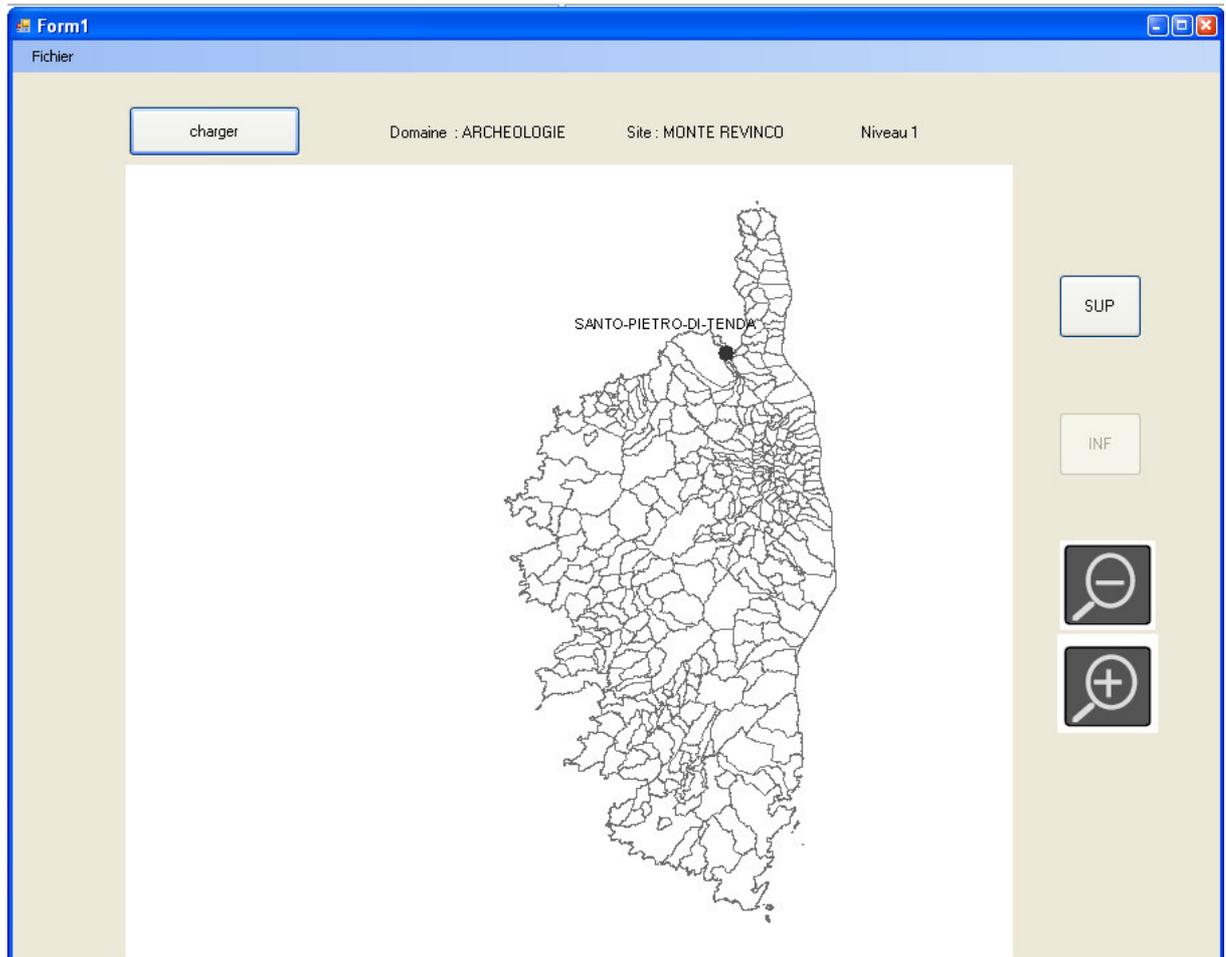
Figure 78 : Commande de la navigation multi-représentations (zoom intelligent)

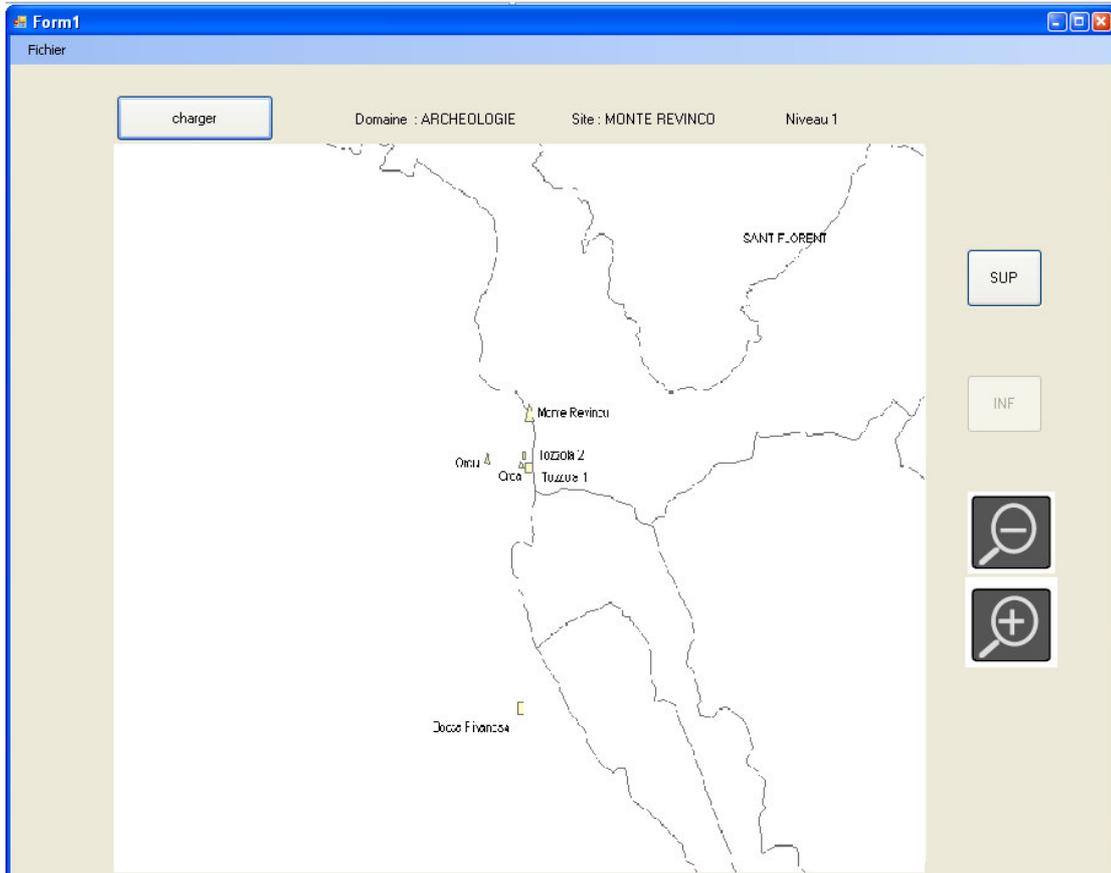
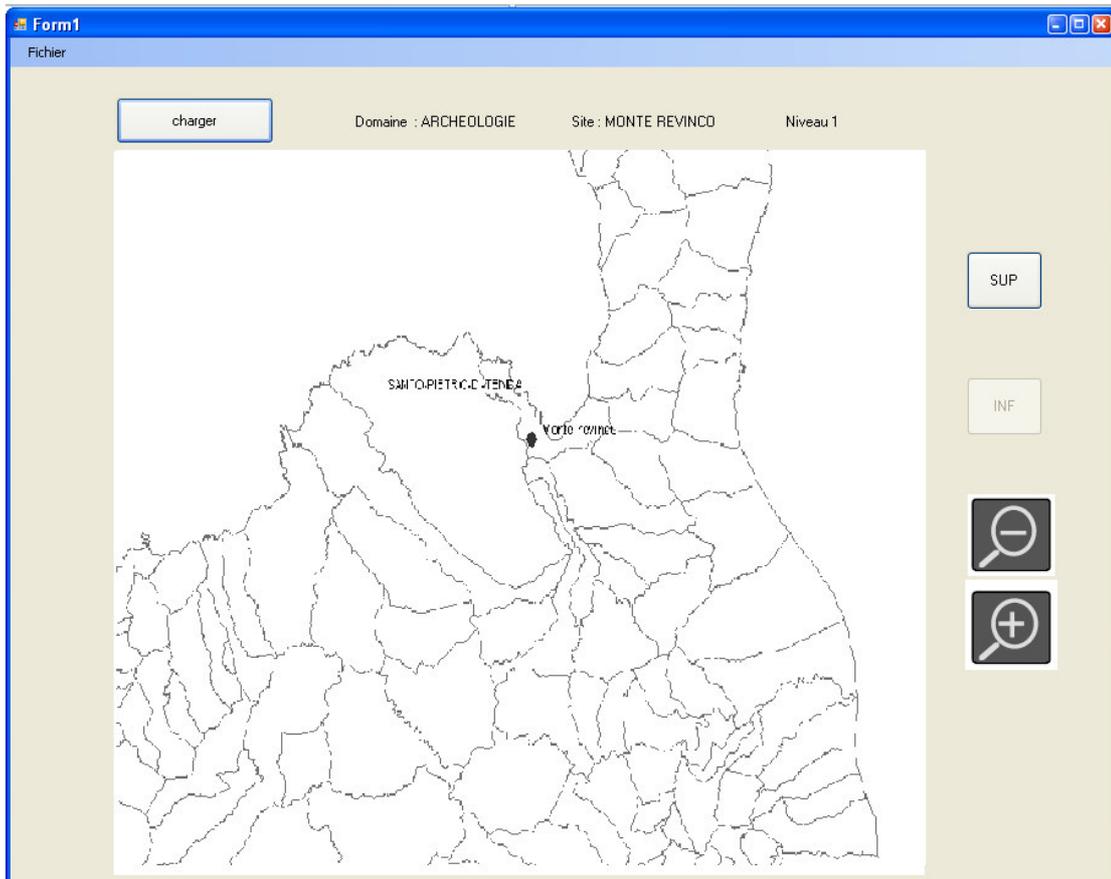
Dans ce cas, il sera fait appel aux fonctions de transfert pour la navigation, à chaque fois qu'on change de niveau de détail. Pour le zoom physique, l'utilisateur choisit la commande normale sans les deux flèches, le montre la figure 80.

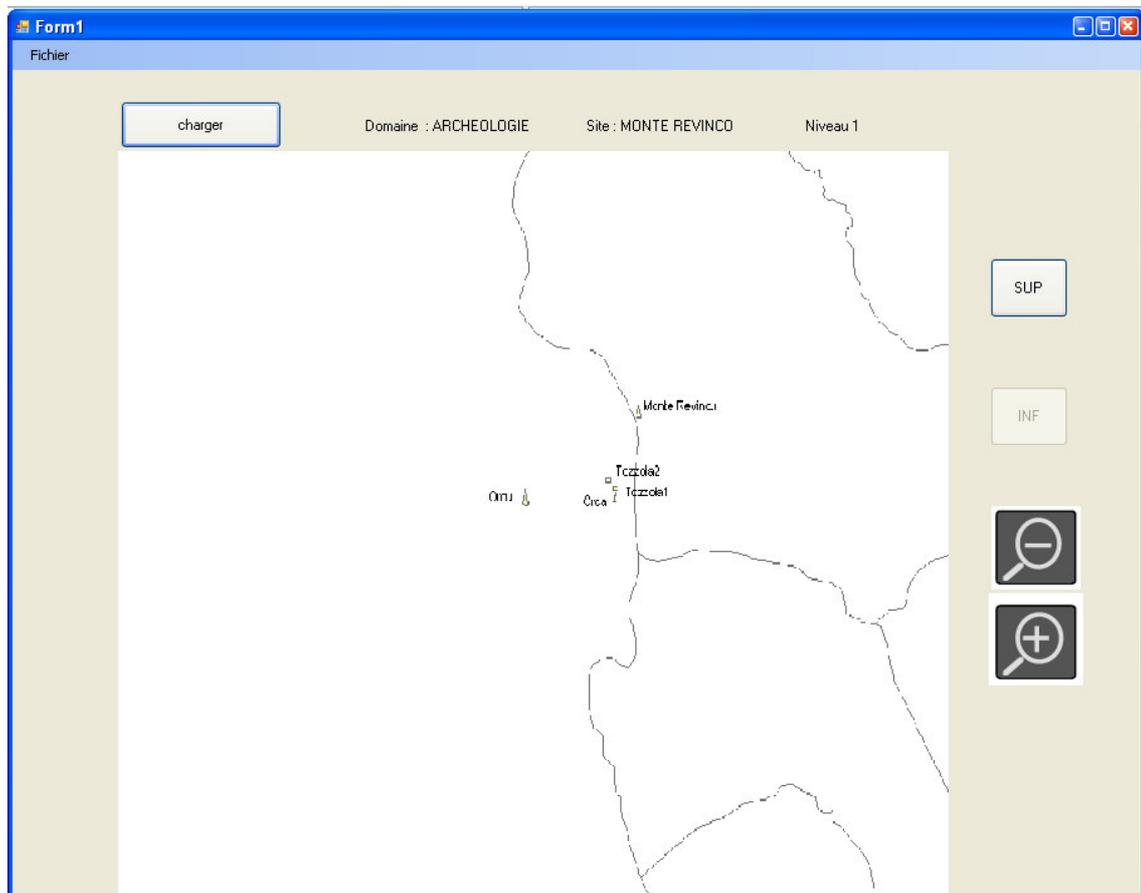


Figure 79 : Zoom cartographique

Avec GIS-3A, on se déplace entre les différents niveaux de détail. Des copies d'écran, dans ce qui suit illustrent un exemple de navigation appliqué sur le site de Monti Revincu :







2.3 Dessins graphiques :

Nous prévoyons aussi pour la manipulation des données que l'utilisateur aura des commandes pour faire des dessins directement sur la présentation, tels que des cercles, lignes et triangles. Ces dessins sont intéressants pour des études archéoastronomiques. Nous présentons dans la figure 81 juste l'interface telle qu'elle peut être pour la réalisation de dessins directement.

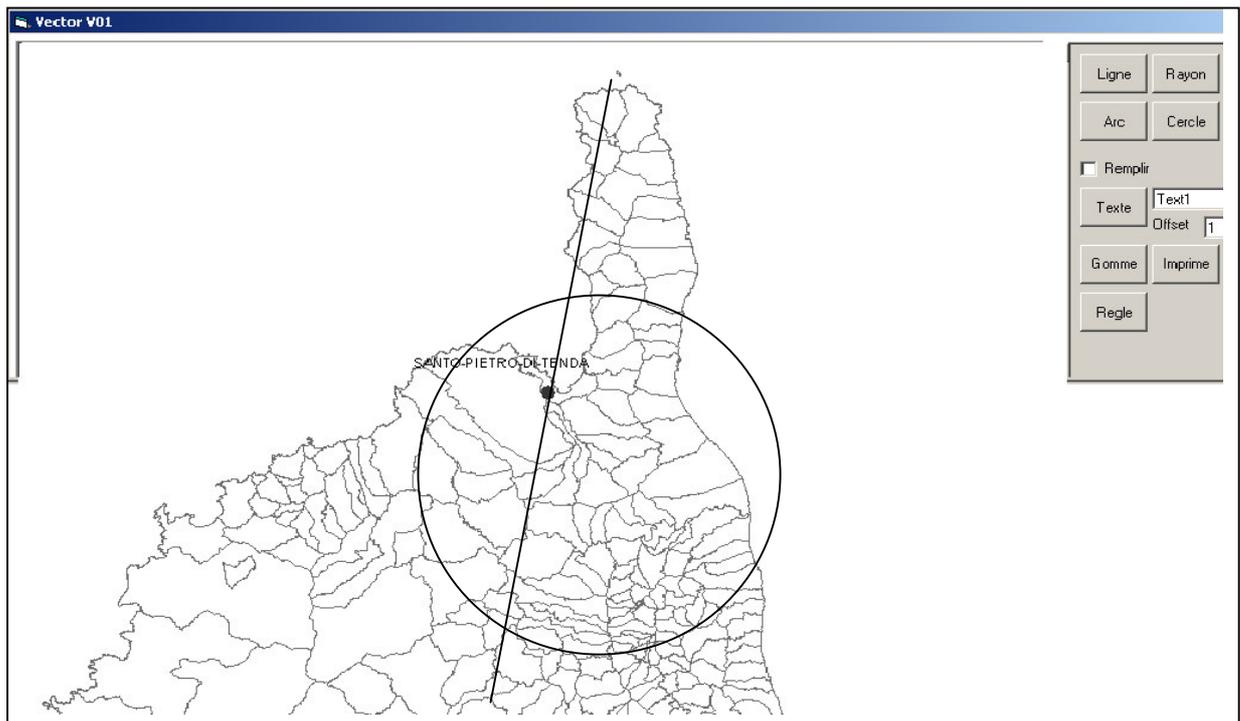


Figure 80 : Dessins géométriques

3 Etudes archéoastronomiques

En raison de la coexistence de plusieurs monuments mégalithiques, le site du Monte Revincu se prête particulièrement bien à une approche « archéoastronomique ». Cette note constitue une réflexion préliminaire qui sera approfondie par l'étude de la totalité des monuments mégalithiques de l'île. Ce travail est mené en collaboration avec les professeurs Hoskin de l'Université de Cambridge, expert auprès de l'Unesco et le Professeur Ruggles de l'Université de Leicester.

3.1 Présentation de l'archéoastronomie

L'archéoastronomie est la science qui concerne l'étude des croyances et des pratiques astronomiques des sociétés anciennes. C'est d'abord un outil pour comprendre les accomplissements intellectuels des premières sociétés, comme par exemple, les bâtisseurs des alignements mégalithiques. On parle également d'astronomie mégalithique, lorsqu'il s'agit de mesurer et d'interpréter la signification astronomique de structures architecturales d'origine préhistorique.

L'archéoastronomie inclut l'étude des croyances astronomiques et cosmologiques des peuples anciens, ainsi que la mythologie et le folklore rattachés aux phénomènes célestes dans les cultures anciennes.

La base de la discipline de l'archéoastronomie repose sur l'hypothèse que les peuples anciens, même à un stade technologiquement ou intellectuellement primitif, au cours de leur histoire, seraient servis de leurs observations dans des rituels ou les auraient incorporés dans des mythes afin de mettre sur pied des calendriers, ou d'anticiper les dates importantes d'activités saisonnières, par exemple, à des fins agricoles.

L'étude des sites archéologiques repose sur une mesure systématique de l'orientation des sites.

En général, ce sont les sites funéraires qui présentent des orientations en relation avec des événements astronomiques tels que les levers ou les couchers du soleil ou de la lune.

Ce sont donc des faits scientifiques (orientations des sites) qui sont généralement présentés par les chercheurs en archéoastronomie. Ces orientations sont mesurées à l'aide d'une boussole après avoir repéré l'axe principal du site funéraire. Afin d'étudier une correspondance avec des événements astronomiques, une autre mesure doit être établie : l'angle qui exprime l'élévation de l'horizon selon la direction obtenue précédemment avec la boussole. En général, cet angle est mesuré à l'aide d'un clinomètre. Pour le calcul de la déclinaison nous utilisons le logiciel GIS-3A pour un calcul automatique.

3.2 Résultats au Monte Revincu

Nous avons effectué les mesures archéoastronomiques suivantes des dolmens et coffres associés au Monte Revincu.

Pour chaque dolmen ou coffre dont nous avons mesuré l'orientation nous avons pris en compte les mesures suivantes : :

- Az : l'azimuth mesuré avec une boussole (orientation du dolmen par rapport au nord)

- Alt : l'altitude mesurée à l'aide d'un clinomètre. Cet angle exprime l'élévation de l'horizon à partir du dolmen mesuré en regardant vers l'orientation donnée par l'azimuth.
- Lat : la latitude du dolmen
- Dec : la déclinaison calculée à partir des angles précédents, permet de faire le lien entre l'orientation du dolmen et les positions des astres (lune et soleil en particulier) à l'époque à laquelle les sites funéraires ont été datés. En effet la déclinaison exprime la position des astres dans le ciel. La déclinaison est calculée à partir de logiciel GIS-3A

Les résultats obtenus sont présentés dans la table 1 pour les dolmens et table 2 pour les coffres.

Table 1 : Orientations des dolmens :

Az.	Alt.	Lat.	Dec.	Tombe
°	°	°	°	
128	2	42.6	-25 1/2	Dolmen sommet du Monte Revincu
110	4	42.6	-12	Casa di u Lurcu – entrée (Lurcu dolmen)
130	4	42.6	-25 1/2	Casa di u Lurcu - passage
75	21/2	42.6	12 1/2	Casa di l'Orca (Orca dolmen)

Table 2 : Orientation des coffres :

Az.	Alt.	Lat.	Dec.	Tombe
°	°	°	°	
87	3	42.6	5	Cist near u Lurcu
95	4	42.6	-1	Cist near l'Orca – Tozzola 1
108	4	42.6	-10 1/2	Cist near l'Orca – Tozzola 2
68	2	42.6	17	Tombe di u Lurcu – Pivanosa

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons remarquer dans les tables 1 et 2, que les orientations sont comprises entre 68° et 130° . Ce qui est remarquable puisque qu'elles correspondent à des levers solaires ou lunaires sans aucune exception.

3.3 Application de l'étude à l'ensemble des mégalithes Corse

La civilisation mégalithique de la corse a surgi vers la fin du 5^{ème} Millénium. La première phase à laisser de nombreuses traces qu'on peut trouver partout dans la moitié méridionale de l'île et dans très peu d'endroit dans la moitié nord.

L'orientation de sept dolmens parmi les huit construits dans la phase postérieure est vers l'Est ou le Sud : Ces dolmens, et un grand nombres des tombes du nord de la Sardaigne ont été dans la plupart de temps orientés vers ce qui est nommé la grande gamme des coucher/lever) c'est- à-dire environ entre 60° et 190° .

Ces dernières années beaucoup de dolmens Corse ont émergé, ainsi qu'un certain nombre de chambres funéraires (premier tombeaux non-dolménique). On les trouve dans différentes régions de l'île (Figure 82)

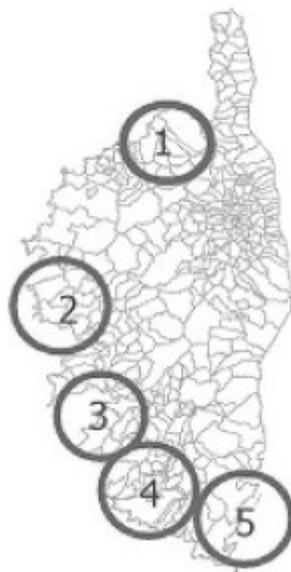


Figure 81: 5 Région géographique où la plupart des tombes sont localisées

Dans notre travail sur les orientations, nous avons utilisé les mêmes techniques utilisées par M. Hoskin, et nous calculons la déclinaison à l'aide de notre logiciel GIS-3A. Les instruments que nous utilisons ont une précision de 0.5°.

Un regard sur la Figure 82 prouve que la plupart des orientations des coffres est dolmens sont fortement non aléatoires, excepté quatre dolmens orientés vers l'ouest se trouvant dans le sud de l'île. Tout les coffres est dolmens sont orientés entre environ 60° et 195°. Une telle uniformité dans les orientations et avec une grande distance entre ces sites ne laisse pas de doute à ce que la motivation de leurs construction étaient d'ordre astronomique.

a) Etude d'orientations des coffres

Nous commençons par étudié l'orientation des treize coffres que nous avons mesurés au cours de notre travail. Ils ont été construits entre 4200 avant J-C et le milieu de 2^{ème} millénium. Les dolmens ont des entrés mais les coffres sont fermés des quatre cotés, d'où la difficulté pour mesurer les orientations, car l'axe des coffres qui est prêt n'est pas sûr. Nous avons alors décidé de diviser les coffres en deux groupe suivant leurs tailles. Dans le premier groupe, on trouve ceux de plus d'un mètre de largeur et de 2 mètres de longueur. Le deuxième groupe comporte des petits coffres et ceux dont l'entrée n'a pas pu être identifié, ce qui nous ignorons par la suite.

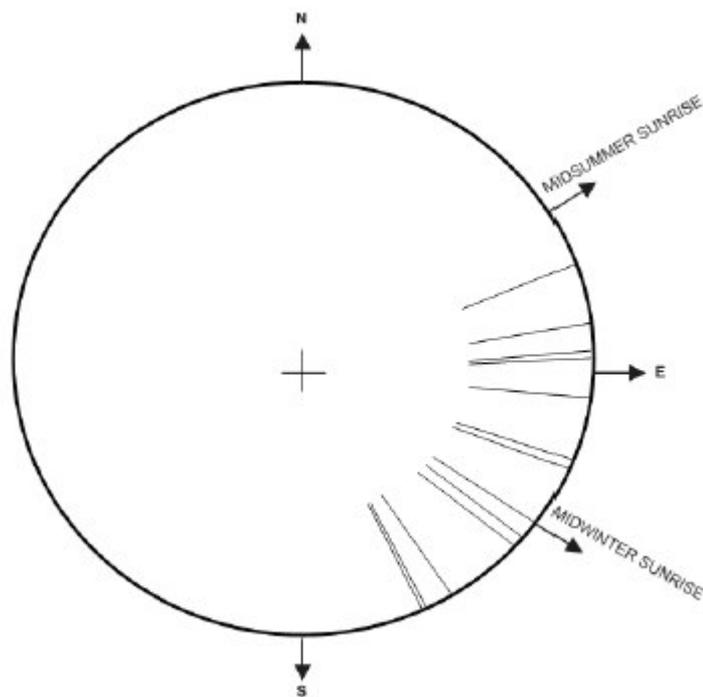


Figure 82: Orientation des treize larges coffres avec orientations définies

Dans la table N°3 les orientations des treize coffres de premier groupe, c'est-à-dire ceux qui ont une évidente orientation (quoi qu'elle soient fermée). Dix de ces coffres sont orientés vers le lever de soleil, et les trois restant vers le sud (coucher soleil). Ce modèle est étroitement semblable à celui produit par Hoskin en Ibérie (sept Pieres d'Antas) tous les 177 de ces pierres sont orientés vers le lever du soleil, la plupart de ces derniers vers le lever de soleil en hiver.

Az. °	Alt. °	Lat. °	Dec. °	Tomb
<i>Nebbiu region</i>				
68	2	42.6	+17	Tomba di u Lurcu – Pivanosa
87	0	42.6	+ 2	Coffer on Mamucci
87	3	42.6	+ 5	Cist near u Lurcu
95	4	42.6	- 1	Cist near l'Orca – Tozzola 1
108	4	42.6	-10½	Cist near l'Orca – Tozzola 2
<i>Purti Vecchju region</i>				
80	0	41.6	+ 7	Arca
127	0	41.6	-27	Vasculacciu 2
145	0	41.6	-38	Vasculacciu 3
152	1½	41.6	-40	Vasculacciu 4
<i>Sartè region</i>				
110	0	41.6	-15	Acumpra (3)*
123	8	41.6	-18	U spiranzatu (2)
127	0	41.6	-27	A cumpra (2)*
153	2	41.6	-40	ContraSarda*

* Orientation approximate owing to state of tomb.

Tableau N°3. Orientations des treize coffres

b) Etude d'orientation des Dolmens

Les dolmens en Corse (figure 84) ont été construit entre 3000-1800 A.J-C.

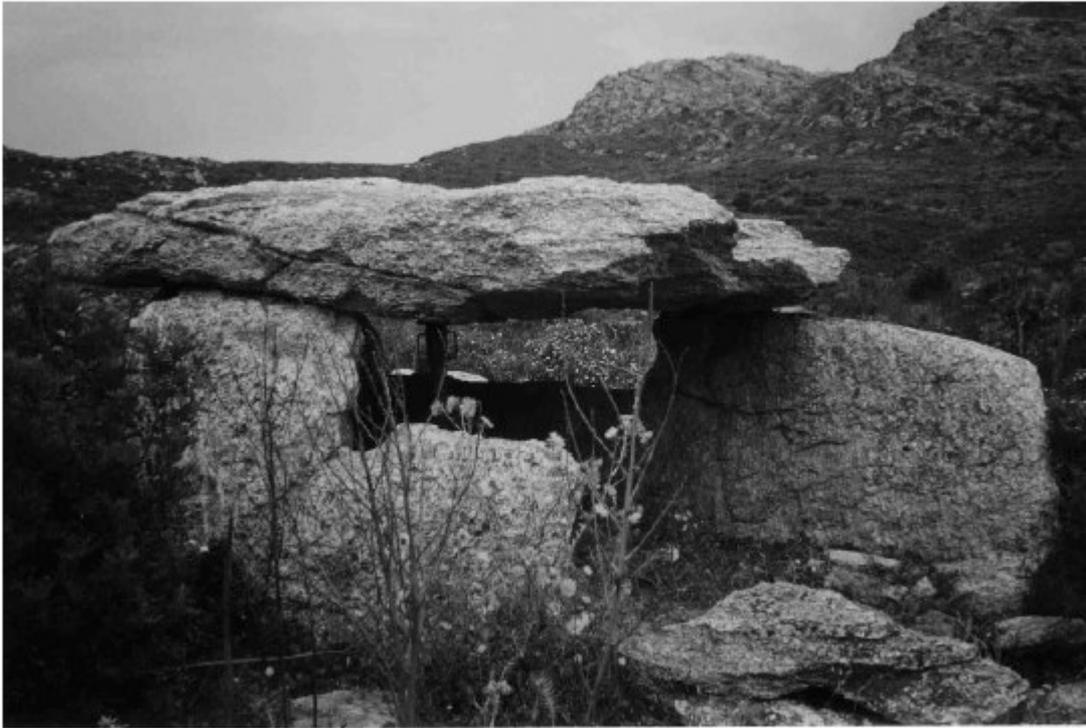


Figure 83 : Exemple d'un dolmen en Corse. Casa di u Lurcu (Nebbiu)

Dans le table n°4, nous énumérons les orientations de huit dolmens mesuré par Hoskin et des vingt dolmens que nous avons localisés et mesurés nous mêmes.

Parmi les 28 orientations, on a trouvé treize Dolmens orientés dans l'intervalle 59° - 130° , donc vers le lever de soleil. Ainsi, on a trouvé onze dolmens orientés dans l'intervalle 131° - 195° vers le lever de soleil ou autour du point culminant, tandis que quatre dolmens dans la région de Sartène sont orientés vers l'ouest.

Az. °	Alt. °	Lat. °	Dec. °	Tomb
<i>Nebbiu region</i>				
128	2	42.6	-25½	Dolmen Monte Revincu
<i>Aiacciu region</i>				
147	0	42.0	-39	Ciutulaghju
190	0	42.0	-47½	Paomial*
190	0	42.0	-47½	Paomia 2A
<i>Purti Vecchju region</i>				
90	0	41.6	+ 3	Sardani
124	0	41.6	-25	Munchjastru
125	0	41.6	-26	Vasculacciu Dolmen
153	5	41.6	-37½	Tivulaghju 1
195	0	41.6	-47	Poghjaredda
<i>Taravu region</i>				
63	4	41.7	+22½	U diavulu*
70	11	41.7	+22	Caudianu
117½	4½	41.7	-17	Tola di u Turmentu
126	6½	41.7	-21	Chjecu*
139	16	41.8	-21	Settiva – Bronze Age??
147	0	41.7	-39	Figa-La-Sarra
153	16	41.8	-27	Musuleu allée couverte
<i>Sartè region</i>				
59	1½	41.5	+23½	Appazu Dolmen
67	10	41.6	+23½	Campu Fiurellu Dolmen
96	3	41.6	-21½	U spiranzatu (1)
112	0	41.6	-16½	A cumpra (1)
130	3	41.5	-26½	Fontanaccia
162	-0½	41.6	-46½	Belvedere-Venturosa
165	0	41.6	-47	Cardiccia
181½	1	41.6	-48	Vaccil Vechju (Bizzicu Rossu)
217	3	41.6	-34½	Arghjola
255	0	41.6	-11½	Presa-Tusiu
278	0	41.6	+ 5½	Capu di Logu Dolmen 1
288	4	41.6	+16	Capu di Logu Dolmen 2

* Orientation approximate owing to state of tomb.

Table N°4 : Orientation des 28 dolmens

3.4 Vue panoramique 360°

Nous présentons dans cette partie, comment peut-on réaliser une scène panoramique en 3D avec l'aide de l'outil SIG. Le but est de proposer une approche de logiciel qui aidera, n'importe quel chercheur dans le domaine d'archéoastronomie, à analyser les liens entre le paysage et les événements célestes. Cette approche se base sur trois étapes principales :

- La définition d'une méthodologie pour produire une vue 360° d'un horizon en utilisant les SIG commerciaux.
- L'intégration de la vue précédente dans un logiciel commercial consacré à l'astronomie
- L'étude des événements astronomiques liés à la vue.

Nous précisons, dans ce qui suit, comment l'approche proposée a été définie pour obtenir un outil évolutif et efficace. En outre, nous détaillerons comment cette approche a été employée avec succès dans le cadre des fouilles conduites par la DRAC dans le secteur de Monté Revincu. Dans ce cas, nous nous sommes intéressés par les mégalithes de la région du Nebiu et particulièrement ceux situés autour de Monté Revincu.

3.4.1 L'approche logicielle

Un des monuments les plus célèbres impliqués dans des études archéoastronomiques est Stonehenge en Angleterre, utilisé entre 3000-1800 A.J-C, c'est un ensemble de pierres énormes. La figure 85 donne dans (a) une vue de l'emplacement tandis que la figure 85(b) montre une reconstruction du monument. L'axe principal du monument est aligné de sorte que, quand le soleil se lève pendant le solstice d'été, on peut le voir monté au-dessus de la « pierre à Talon ». D'autres pierres sont alignées pour marquer les lever et les coucher du soleil comme de la lune dans d'autres jours importants de l'année.

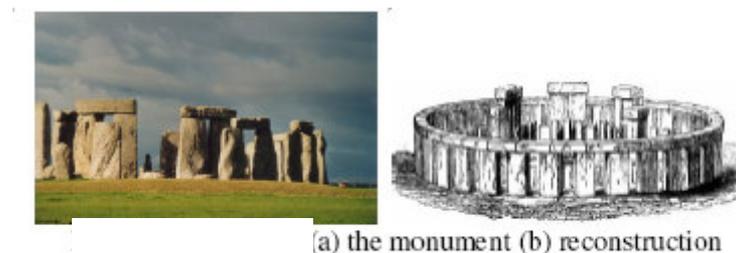


Figure 84 : Site archéoastronomiques Stonehenge en Angleterre

Naturellement, les sites mégalithiques érigés partout en Europe sont étudiés par des archéoastronomes d'Europe depuis le début des années 70. Nous présentons dans la figure 86 un emplacement célèbre en Bretagne : La table des marchands. La figure 86(a) montre un Tumulus avec son entrée tandis que la figure 86(b) présente une vue de l'entrée.



Figure 85 : Tables des marchand

La figure 87 montre les Taulas de Menorca.

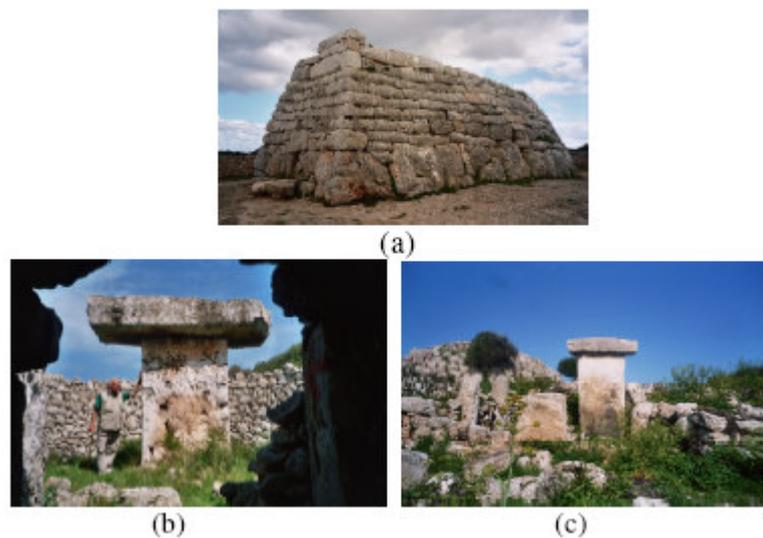


Figure 86 : Taulas de Menorca

En Amérique du nord, un des exemples les plus connus est The Big Horn Medicine Well (utilisé autour de 1500-1700 Après J-C). C'est un petit arrangement de pierres dans lesquelles certaines piles de pierres, sont alignées avec le lever et le coucher de soleil aux solstices et aussi avec le lever des étoiles les plus lumineuses.

Afin d'analyser et d'étudier les liens entre les monuments mégalithiques et le ciel au moment où ces monuments ont été construits (5000-8000 avant J-C), nous proposons une approche logicielle qui reconstituera le ciel à la période mégalithique dans des paysages entourant un emplacement donné. Afin de réaliser ce but, nous proposons d'intégrer un logiciel SIG avec un logiciel d'astronomie.

3.4.2 Génération de la vue panoramique avec un SIG

Afin de pouvoir intégrer des vues réelles d'horizon dans un logiciel d'astronomie STARRY NIGHT, nous devons produire une vue panoramique (360°) d'un point donné sur la terre. Cette vue à 360° peut être générée en composant un ensemble de vues à l'aide des outils 3D des SIG commerciaux tel que MAPINFO et des logiciels de traitements d'images.

L'intégration des différentes vues en 3D produits précédemment se fait comme suit :

- Composition de la vue 360° à l'aide d'un logiciel de traitements d'images tel que Photoshop. On rassemble les différentes vues pour construire une vue panoramique en 3D, et cela en respectant bien sûr les points de connections entre les différentes vues.
- Une fois la vue panoramique produite nous procédons à la suppression du ciel de la vue avec les outils du logiciel de traitements d'images avec un simple gommage de ciel.
- La dernière étape est de sauvegarder la vue en (.psd) dans un dossier d'image panoramique et le nommer.

Insertion de la vue dans Starry Night :

Afin de pouvoir exécuter le lien entre le dossier d'image nommé ultérieurement, on doit écrire un ensemble de commande avec le format général :

```
<SN_VALUE name="XXXXXX" value="XXXXXX">.
```

Ces lignes permettent de charger un certain nombre de propriétés pour le paysage conçu.

```
<SN_VALUE name="PanoName" value="YourHor">
```

Il faut indiquer le nom de la valeur qui décrit l'image, par exemple, value="YourHor"

<SN_VALUE name="ImageFileName" value="YourHor.psd">

Le nom de l'image doit être placé dans un même dossier nommé, par exemple panorama d'horizon.

Ainsi, si on nomme l'image YourHorizon.psd, il faut donner la valeur **value="MyHorizon.psd"** à l'image et les textes doivent être localisé dans le même dossier que celui de panorama d'horizon.

3.4.3 Validation de l'approche

Pour notre approche, nous avons choisi le secteur de Monté Revincu. Les dolmens et les coffres mégalithiques qui peuvent être trouver dans le secteur sont lié à une légende orale célèbre en Corse « Légende du Lurcu ».

En suivant les instruction décrites ci-dessus, nous avons produit une vue panoramique en 306° de l'entourage de dolmen de l'Orca, le résultat est représenté dans la figure 88 obtenu dans Starry Night.



Figure 87 : Vue réelle en 3D du lever de la lune en 3000 Avant J-C dans Starry Night

L'image représente une simulation le huit décembre 3000 avant J-C. On peut voir le lever de la lune de ce dolmen. Nous avons utilisé cette approche logicielle pour analyser les évènements astronomique qui se sont produit dans le Monté Revincu entre 4200-3000 avant J-C.

En outre, la possibilité de simuler le ciel et les évènements astronomiques dans le paysage du monde réel près des emplacement mégalithiques, laisse réaliser une étude anthropologique de la compréhension du ciel au moment où ces sites ont été construits.

Nous avons décrit une approche de logiciel pour l'intégration d'une vue panoramique (360°) d'une région réalisée par un SIG dans u logiciel d'astronomie. Nous avons validé cette approche en effectuent la simulation du ciel dans un horizon d'un paysage réel autour des mégalithes de Monte Revincu.

4 Conclusion

Nous avons présenté dans ce paragraphe l'interface logiciel GIS-3A, et aussi quelques perspectives futures à ajouter comme les dessins graphiques sur les représentations. Les deux applications sur le même site Monti Revincu, nous montre les différent possibilité de l'étude spatiale du site suivant le domaine d'application, archéologique pour le premier et archéoastronomie pour le second. Nous comptons développer GIS-3A dans le sens ou il peut récupérer des représentations et des fichiers de format SIG tels que les formats shape (.shp) de Arcview, ainsi des possibilités de faire des analyses en 3D et la possibilité d'ajout du multimédia (image vidéo) et l'aide à la prospection et aux fouilles des sites archéologiques.

Chapitre VI : Conclusion Générale

Bilan

La représentation du monde réel dans une base de données géographique n'a jamais été une tâche facile. Outre les problèmes de coûts et délais de réalisation ainsi que la complexité de l'information géographique, les exigences des utilisateurs et des applications, mettent les concepteurs de logiciels et les producteurs de bases de données devant des défis perpétuels.

De la lecture de ce mémoire, il ressort l'évidence que le stockage des données à échelles différentes, sous forme de base de données séparées, multiplie les incohérences entre les différentes bases, et rend leur mise à jour simultanée plus longue et onéreuse, et très difficile à mettre en oeuvre. Il en ressort aussi que la mise en oeuvre d'une base de données multi-échelles soulève plusieurs problèmes, qui s'ils restent sans solution préalable, la base de données n'aurait de "multi-échelles" que la masse de données qui la compose.

En effet, la coexistence de plusieurs représentations géométriques d'un objet dans une même base de données exige de ces dernières une certaine conformité à des standards et normes. Car très souvent les différentes représentations des données ont été effectuées à des dates et époques très éloignées avec des moyens technologiques très différents, d'où l'apparition de conflits entre représentations. Un examen minutieux des différents lots de données s'impose ainsi qu'une phase de pré-intégration des données doit être définie. L'appariement manuel des données, via des éditeurs interactifs, est une opération très longue et délicate, voire impossible à mettre en oeuvre lorsqu'il s'agit de bases de données de grande extension. L'automatisation, même partielle, de cette tâche s'impose.

La mise en correspondance, via des relations de transition d'échelle, de plusieurs représentations géométriques d'un objet n'est pas une condition suffisante pour assurer toutes les fonctions d'une base de données multi-échelles. En effet, la mise en oeuvre d'un processus de généralisation, même semi-automatique, est prépondérante à la transmission des mises à jour à travers les différentes représentations.

L'inexistence sur le marché de logiciels traitant des problèmes spécifiques d'intégration de données multi-échelles, de généralisation numérique, et de transmission automatique des mises à jour, oblige les institutions cartographiques à développer leurs propres solutions. Ainsi, si notre travail a apporté une solution simple, fiable et efficace pour la modélisation de données multi-échelles, il soulève aussi d'autres problèmes, dont il

opportun de prendre en charge dans le cadre des futurs travaux de recherche et développement.

Nous avons présenté comment l'introduction de concepts de domaines et de niveaux d'abstraction a permis la résolution de problèmes mis en évidence dans le cadre d'un projet de recherche interdisciplinaire mené à l'Université de Corse entre anthropologues, archéologues et informaticiens. La définition des notions de niveaux d'abstraction de données spatiales ainsi que les notions de domaines ont permis une structuration originale de données spatiales. De plus, nous avons montré comment, à partir de ces notions, nous pouvons offrir une infrastructure logicielle générique permettant notamment de :

- gérer plusieurs domaines et niveaux d'abstraction de données spatiales,
- définir ou d'utiliser des fonctions de transfert entre niveaux,
- réaliser des analyses astronomiques entre différentes données spatiales.

Nous avons aussi dans le cadre de cette thèse, développé notre proposition de modélisation de la multi-représentation en l'appliquant aux domaines des SHS. La proposition de deux techniques de navigation multi-représentations, la première consiste à une navigation directe avec des liens entre représentation et la seconde utilisant des fonctions de transfert. Ces approches sont complémentaires dans le sens où des liens entre représentations existent dans les deux cas, par contre beaucoup de travaux restent à faire pour développer la navigation entre représentations.

Le logiciel est développé en Visual Basic ce qui permet d'une part, d'implémenter les différentes notions en utilisant une conception orientée objets et d'autre part, de faciliter l'intégration de ces notions dans un SIG (Arcview). La validation du logiciel est réalisée dans le cadre du projet interdisciplinaire. Le but de notre travail est donc d'offrir un environnement logiciel convivial permettant le développement et l'utilisation d'un SIG intégrant les données anthropologiques, archéologiques et astronomiques.

La qualité et l'importance de nos résultats sur un plan académique nous semble attestée par le bon niveau de réception de nos propositions par la communauté scientifique dans des conférences nationales telles que SIGMA-CASSINI [KHO 04 et SAN, KHO et all.05] et internationales telles que la conférence internationale des cartographes ICC [KHO et all.05] ainsi que la conférence CAA [KHO et all.05]. D'autres publications dans le domaine

SHS ont été acceptées au niveau national et international [SAN et all.04] pour l'EIM (Environnement et Identité en Méditerranée), et [SAN &all05, 06] pour la conférence SEAC.

Perspectives

Pour les perspectives de notre travail, un couplage entre notre plate forme logiciel et un outil SIG commercial sera intéressant. De plus, nous avons initié des recherches dans le domaine des 3D, notamment avec la simulation de l'ancien ciel dans un espace « géographique » [KHO et all.06]. Une autre réflexion porte sur la reconstruction en 3D des sites et des objets archéologiques en vue de les intégrer à un SIG.

Vu la contrainte de temps, les recherches dans le cadre de cette thèse ont été beaucoup plus théoriques, quoiqu'une application à été réalisée pour une validation de quelques concepts. Cependant, il reste à ajouter tout les concepts et les développés.

LISTE DES TRAVAUX SCIENTIFIQUES ET PUBLICATIONS

Publications

[KHO & SAN 04]

El-Hadi Khoumeri et Jean-François Santucci

Représentation hiérarchisée multi-vues de données spatiales. Journée Cassini 2004, Grenoble. Géomatique et Analyse Spatiale. Actes de la conférence CASSINI, Pages 111- 116, Grenoble, juin 2004.

[KHO & all0a5]

El-Hadi Khoumeri et Jean-François Santucci et Dominique Federici

Hierarchical Multi-View Representation of Spatial Data : Application to the Analysis of Corsican Neolithic Tombs CAA 2005 (Computer Application for Archaeology), 21-24 Mars 2005, Tomar, Portugal.

[KHO & all05b]

El-Hadi Khoumeri, Jean-François Santucci et Dominique Federici

Intégration de la notion de hiérarchie d'abstraction de données spatiales dans un SIG : Application en Archéoastronomie. Actes de la conférence CASSINI 2005, Avignon, 20-23 juin 2005.

[KHO & all05c]

El-Hadi Khoumeri, Jean-François Santucci et Dominique Federici

Multi level representation of spatial data : application in Archeology and Anthropology, International Cartographic Conference, ICC 2005, 9-16 Juillet 2005, La Corogne, Espagne

[KHO & all06]

El Hadi Khoumeri, Ghjasippina Thury-Bouvet et Jean-François Santucci

Study of astronomical events around Neolithic tombs using a software approach: Experimental Results on Monte Revincu megaliths, CAA2006, Fargo North Dakota, 18-23 Avril 2006.

[KHO & SAN06]

El Hadi Khoumeri et Jean-François Santucci

GIS For Archaeolog.. International Symposium on Environment, Identities and Mediterranean Area 2006 (ISEIM'2006), Corte, 10-13 juillet 2006.

[SAN & all05]

J.F. Santucci, G. Thury Bouvet, E. Khoumeri et A. Ottavi

Orientations of Corsican Neolithic tombs, article accepté pour publication, Colloque SEAC (Société Européenne d'Astronomie dans la culture) Archeoastronomy à ISILI, Sardaigne, 28 Juin-3 Juillet 2005.

[SAN & all 04]

J.F. Santucci, G. Thury Bouvet, E. Khoumeri et A. Ottavi

Legends, Megaliths And Astronomy In Corsica Island: U Monte Revincu Actes du IVème Congrès "Environnement et Identité en Méditerranée", Corte, 2004.

[SAN & all 05]

J.F. Santucci, G. Thury-Bouvet, A. Ottavi et E. Khoumeri

Astronomical orientations of Neolithic tombs in Monte Revincu. Actes du Colloque EIM 2004 (sélection des articles les plus représentatifs du colloque), 8 pages , 2005.

[SAN & all06]

Jean-François Santucci, El Hadi Khoumeri et Ghjasippina Thury-Bouvet

Archaeology and Astronomy : similarities and differences between Corsica, Balearic Islands and Sardinia. International Symposium on Environment, Identities and Mediterranean Area 2006 (ISEIM'2006), Corte, 10-13 juillet 2006.

[THU 06]

G. Thury-Bouvet, J.F. Santucci, , E. Khoumeri et A. Ottavi
Orientations of Corsican Dolmens, JHA (Journal of History of Astronomy), 2006.

Rapports de Contrats de Recherche

METIS Rapport N°1

J.F. SANTUCCI (SPE), D. SALINI (LAMMI), Projet retenu lors d'un appel à des Projets de Recherche lancé par la CTC, Avril 2004.

METIS Rapport N°2

J.F. SANTUCCI (SPE), D. SALINI (LAMMI),
Projet retenu lors d'un appel à des Projets de Recherche lancé par la CTC, Octobre 2004,
2004.

Rapport de fouilles

Étude des orientations des sites funéraires néolithiques du Monte Revincu à l'aide d'un SIG
J.F. SANTUCCI, E. KHOUMERI ET G. THURY BOUVET
Participation au Rapport de fouilles du Site du Monte Revincu rédigé par F. Leandri (DRAC),
Janvier 2005.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[ALA et all.01] M. El Adnani, E. Abdelwahed, D. Benslimane, K. Yetongnon

Couches fonctionnelles et Rôles : Nouveaux concepts pour une modélisation cohérente et intégrale des informations géographiques. *Cybergeog* N° 8. 30/10/2001.

[AND & all 00]

K.-H Anders, M, Sester

Parameter-Free Cluster Detection in Spatial Databases and its Application to Typification, *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, The Netherlands, 16-23 July 2000, Vol. XXXIII, Part A4 (CD-Rom).

[BRA & WEI 88]

K. Brassel et R. Weibel

"A review and conceptual framework of automated map generalization", *International Journal of GIS*, Vol. 2, Num. 3, pp. 229-244, 1988

[BOO e tall. 96]

G. Booch, J. Rumbaugh, I. Jacobson.

Unified Modeling Language User Guide. Editeur(s) : Addison Wesley, Parution : 06/07/2005, 2e édition.

[BUT & DEL 89]

B. Buttenfield et J. S. Delotto : "Multiple representations", *Rapport scientifique NCGIA Buffalo, N.Y: National Center for Geographic Information and Analysis, USA,1989.*

[CEC 02]

A, Cecconi , R, Weibel, et M Barrault.

Improving automated generalisation for on-demand web mapping by multiscale database. *Proceeding of joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*, July 8-11, Ottawa, Canada, pp. 1-9, 2002.

[CUE 72]

R. Cuenin

"Cartographie générale tome 1. Notions générales et principes d'élaboration" Edition Eyrolles, pp. 163 à 177, 1972.

[CHR 02]

R, Christophe et A, Ruas

Detecting Building Alignments for Generalisation Purposes. International Symposium on Spatial Data Handling (Canada / Ottawa, 2002), pp. 419-432, SDH 2002.

[DEV 97]

T. Devogele

"Processus d'intégration et d'appariement de Bases de Données Géographiques Application à une base de données routières multi-échelles", Thèse de Doctorat, Université de Versailles, France 1997.

[GIM 04]

GiMoDig

(Geospatial Info-Mobility Service by Real-Time Data-Integration and Generalisation. <http://gimodig.fgi.fi/>, consulter le 25-10-2005.

[GRU 95]

D. Grünreich

"Development of ComputerAssisted Generalisation on the Basis of Cartographic Model Theory", dans J.C. Müller, J.P Lagrange, F. Salgé and R. Weibel, editors, GIS and Generalization: Methodology and practice. ISBN: 0-7484-0318-3 (cased) 0- 484-0319- 1 (paper). Taylor & Francis pp. 47-55, 1995.

[KHO et SAN 04]

El-Hadi Khoumeri et Jean-François Santucci

Représentation hiérarchisée multi-vues de données spatiales. Journée Cassini 2004, Grenoble. Géomatique et Analyse Spatiale. Actes de la conférence CASSINI. pp. 111-116. Grenoble, juin 2004.

[KHO & all05a]

El-Hadi Khoumeri et Jean-François Santucci et Dominique Federici

Hierarchical Multi-View Representation of Spatial Data : Application to the Analysis of Corsican Neolithic Tombs CAA 2005 (Computer Application for Archaeology), 21-24 Mars 2005. Tomar, Portugal.

[KHO & all05b]

El-Hadi Khoumeri, Jean-François Santucci et Dominique Federici

Intégration de la notion de Hiérarchie d'abstraction de données spatiales dans un SIG : Application en Archéoastronomie, Actes de la conférence CASSINI 2005, Avignon, 20-23 juin 2005.

[KHO & all05c]

El-Hadi Khoumeri, Jean-François Santucci et Dominique Federici

Multi level Representation of spatial data : application in Archeology and Anthropology, International Cartographic Conference, (ICC 2005), 9-16 Juillet 2005, La Corogne, Espagne

[KHO & all06a]

El Hadi Khoumeri, Ghjasippina Thury-Bouvet et Jean-François Santucci,

Study of astronomical events around Neolithic tombs using a software approach : Experimental Results on Monte Revincu megaliths, CAA2006, Fargo, North Dakota, 18-23 Avril 2006.

[KHO & SAN06b]

El Hadi Khoumeri et Jean-François Santucci

GIS For Archaeology. International Symposium on Environment, Identities and Mediterranean Area 2006 (ISEIM'2006), Corte, 10-13 juillet 2006.

[HOS 94]

M. Hoskin et al

Orientations of Corsican dolmens, JHA, xxv (1994), pp 313-317.

[HOS 01]

M. Hoskin

Tombs, Temples and their orientations, Cambridge, Editions Ocatarina, 2001.

[KIL &all 95]

T, Kilpeläinen, T, Sarjakoski,

Incremental generalization for multiple representations of geographic objects. In: Muller, J. C., Lagrange, J. P. & Weibel, R. (editors) GIS and Generalization: Methodology and Practise. Taylor & Francis, London, pp. 209-218. 1995.

[LAM 99]

S, Lamy, A, Ruas, Y, Demazeau, M, Jackson, W, Mackaness, R, Weibel

The Application of Agents in Automated Map Generalization, Proceedings of the 19th International Cartographic Conference of the ICA, Ottawa, Canada. 1999.

[MCM & SHE 92]

R. McMaster, et K. Shea

"Generalization in digital cartography" publication de l'AAG (Association of American Geographers) ISBN 8- 89291-209-X USA, 1992

[MUL et al 95]

J.C Müller, J.P Lagrange, R. Weibel, F. Salgé

« Generalization : State of the art and issues, dans J.C. Müller , J.P Lagrange, F. Salgé and R. Weibel, editors, GIS and Generalization : Methodology and practice, ISBN : 0-7484-0318-3 (cased) 0-7484-0319-1 (paper), Taylor & Francis, pp. 3-17, 1995.

[NEU & all 04]

Neun et al.2004

Data Enrichment for Adaptive Generalization, ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation, Leicester, 2004.

[POR 89]

H. Pornon

"La cartographie assistée par ordinateur", Editions Hermès Collection "Technologies de pointe", ISBN 2-86601-167-8 Paris 1989 .

[REG 98]

N. Regnauld

"Généralisation du bâti: structure spatiale de type graphe et représentation cartographique"
Thèse de doctorat Université de Marne la Vallée, 1998

[RUA99]

A. Ruas

"Modèle de généralisation de données géographiques à base de contraintes et d'autonomie",
Thèse de doctorat Université de Marne la Vallée, 1999.

[SAN & all05]

J.F. Santucci, G. Thury Bouvet, E. Khoumeri et A. Ottavi

Orientations of Corsican Neolithic tombs, Colloque SEAC (Société Européenne d'Astronomie dans la culture) Archoastronomy, ISILI, Sardaigne, 28 Juin-3 Juillet, 2005.

[SAN et all.04]

J.F. Santucci, G. Thury Bouvet, E. Khoumeri et A. Ottavi

Legends, Megaliths And Astronomy In Corsica Island: U Monte Revincu, Actes du IVème Congrès "Environnement et Identité en Méditerranée", Corte, 2004.

[SAN & all 05]

J.F. Santucci, G. Thury-Bouvet, A. Ottavi et E. Khoumeri

Astronomical orientations of Neolithic tombs in Monte Revincu, Actes du Colloque EIM 2004 (sélection des articles les plus représentatifs du colloque), 8 pages, 2005.

[SAN & all06]

Jean-François Santucci, El Hadi Khoumeri et Ghjasippina Thury-Bouvet

Archaeology and Astronomy : similarities and differences between Corsica, Balearic Islands and Sardinia, International Symposium on Environment, Identities and Mediterranean Area 2006 (ISEIM'2006), Corte, 10-13 juillet, 2006.

[SCH et al 96]

M. Scholl, A. Voisard, J.P Peloux, L. Raynal et P. Rigaux

«Systèmes de Gestion de Bases de Données Géographiques, Spécificités » ISBN : 2- 84180-051-2 International Thomson Publishing France, Paris, 1996.

[SPA et al 99-b]

S. Spaccapietra, C. Parent et C. Vangenot

« GIS Databases : From Multiscale to Multi-representation », Symposium on Abstraction, Reformulation and Approximation (SARA 2000), Lago Vista Texas, USA , 26-29 Juillet 2000.

[SPA99]

S. Spaccapietra, C. Parent, E. Zimanyi, C. Vangenot

MurMur: A Research Agenda on Multiple Representation., International Symposium on Database Applications in Non Traditional Environments, DANTE'99, Kyoto, Japon, 28-30 Novembre, 1999.

[THU 06]

G. Thury-Bouvet, J.F. Santucci, , E. Khoumeri, A. Ottavi,

Orientations of Corsican Dolmens. JHA (Journal of History of Astronomy) 2006

[VAN 01]

Christelle VANGENOT , Multi-Représentation Dans Les Bases De Données Géographiques, Lausanne, EPFL 2001.

[WEB 95]

R. Weibel

"Map generalization in the context of digital systems", dans "Cartography and Geographic Information Systems", Vol. 22, N°4, Journal officiel de l'ACSM (American Congress on Surveying and Mapping), ISSN 10509844, Robert Weibel, Special issue: Map generalization. Guest Editor pp. 259-263, 1995.

[WEG 1999]

Weger G

Cours de cartographie : sémiologie graphique et conception cartographique. Cours de L'Ecole Nationale des Sciences Géographiques, 1999.

[ZED &all 06]

M. P. Zedda, G. Thury-Bouvet, S. Jean-François, El Hadi Khoumeri et M. Pili

“Orientations of the Menhirs alignments of Corsica and Sardinia”, International Conference On Archaeoastronomy SEAC 2006, 6-10 Avril 2006, Rhodes, Greece.

Table des figures

Figure 1 : Schéma représentatif de la méthode de recherche	10
Figure 2 : Mode de représentation des données spatiales dans un SIG	16
Figure 3 : Organisation des données en couches	17
Figure 4 : Mode spaghetti	18
Figure 5 : Mode Réseau	19
Figure 6 : Mode topologique	20
Figure 7 : Exemple de réduction d'échelle	21
Figure 8 : Généralisation cartographique[Reg98]	23
Figure 9 : Exemple de la Généralisation	24
Figure 11 : Généralisation graphique d'un réseau Hydrographique	30
Figure 12 : Généralisation d'une surface de végétation	30
Figure 13 : Généralisation du bâti	30
Figure 14 : Simplification	31
Figure 15 : Regroupement	31
Figure 16 : Symbolisation	31
Figure 17 : Classification	32
Figure 18 : Déformation, exagération	32
Figure 19 : Déplacement	32
Figure 20 : Les trois composantes critiques de la généralisation	35
Figure 21 : Modèle de MC Master et Shea	37
Figure 22 : Variation de la représentation d'une agglomération en fonction de l'échelle	39
Figure 23 : Deux représentations selon des niveaux de détail différents [VAN01]	39
Figure 24 : Représentation cartographique d'une route	40
Figure 25 : Représentation tridimensionnelle	43
Figure 26 : Déplacement vers un point éloigné en utilisant plusieurs représentations	49
Figure 27 : Niveaux de détail	58
Figure 28 : Représentation multiple d'une rivière a la même échelle	59
Figure 29 : Représentations des objets suivant les niveaux d'abstraction	60
Figure 30: Changement de la sémantique suivant les niveaux d'abstraction	61
Figure 31 : Multiple représentation en anthropologie	62
Figure 32 : Génération de nouvelles représentations	63
Figure 33 : Exemple de choix de fonctions de transfert	63
Figure 34 : Schéma conceptuel	66
Figure 35 : Représentation des différents niveaux d'abstraction	73
Figure 36 : Représentation de Menhirs dans un site archéologique	74
Figure 37 : Distance maximale entre Menhirs	75
Figure 38 : Alignement principal obtenu après contrainte	75
Figure 39: contraintes distance	75
Figure 40 : Contrainte de Densité	76
Figure 41: Simplification des menhirs hors structure principale	76
Figure 42 : Schéma représentatif d'une agrégation	77
Figure 43 : Position d'une étoile sur la sphère Céleste	78
Figure 44 : Position de l'étoile pour l'observateur	78
Figure 45 : Schéma représentatif de l'objet de base point	86
Figure 46 : Schéma des représentations héritées	87
Figure 47 : Schéma représentatif de GIS-3A	87
Figure 48 : Composantes d'une représentation	88
Figure 49 : Transmission multiple des classes	89

Figure 50 : Héritage des données pendant la navigation	90
Figure 51: Fonctions de transferts	90
Figure 52 : Représentation globale du dispositif de navigation	91
Figure 53 : Schéma du module GIS-3A	92
Figure 54 : Composante d'un projet	93
Figure 55 : Sauvegarde du projet	94
Figure 56 : Création Projet	95
Figure 57 : Sous-représentations et niveaux de détail	99
Figure 58 : Zoom-in de R	99
Figure 59 : Zoom-in	100
Figure 60 : Zoom-Out	100
Figure 61 : Localisation du site du Monte Revincu (Représentation R1)	101
Figure 62 : Décomposition du site en 3 sous-sites (Représentation R2)	102
Figure 63 : Description détaillée des 3 sites (Représentation R3)	102
Figure 64 : Classe point	103
Figure 65: Classe application	104
Figure 66 : Classe navigation	104
Figure 67 : Classe représentation	104
Figure 68 : Relation entre représentations	105
Figure 69 : Appartenance à un domaine	105
Figure 70 : Calcul de la déclinaison	105
Figure 71 : Représentation à un haut niveau du système logiciel	106
Figure 72 : Architecture de prototype GIS-3A	112
Figure 73 : Localisation de Monté Revincu	113
Figure 74 : Dolmen Lurcu	115
Figure 75 : Dolmen Orca	116
Figure 76 : Situation géographique des dolmens sur le site	117
Figure 77: Vue 3D des Agriate, Corse du Nord	117
Figure 78 : Navigation inter-représentations	118
Figure 79 : Commande de la navigation multi-représentations (zoom intelligent)	119
Figure 80 : Zoom cartographique	119
Figure 81 : Dessins géométriques	123
Figure 82: 5 Région géographiques où la plupart des tombes sont localisées	126
Figure 83: Orientation des treize larges coffres avec orientations définies	127
Figure 84 : Exemple d'un dolmen en Corse. Casa di u Lurcu (Nebbiu)	129
Figure 85 : Site archéoastronomiques Stonehenge en Angleterre	131
Figure 86 : Tables des marchand	132
Figure 87 : Taulas de Menorca	132
Figure 88 : Vue réelle en 3D du lever de la lune en 3000 Avant J-C dans Starry Night 134	