

**UE ENG111 - Epreuve TEST  
Travail d'Etude et de Synthèse  
Technique en INFORMATIQUE**

**Conservatoire National des Arts et Métiers**

**Centre Régional Rhône-Alpes**

**Centre d'Enseignement de Grenoble**



**Capacité de rendu cartographique  
autour des technologies SOLAP**

**présenté par Benoit LE RUBRUS**

**le 18 juin 2009, à Grenoble, devant le jury :**

**M. Jean-Pierre GIRAUDIN**

**M. Eric SELLIN**

**Mme Véronique PANNE**

**Tuteur : M. Jérôme GENSEL**

# UE ENG111 - Epreuve TEST Travail d'Etude et de Synthèse Technique en INFORMATIQUE: Capacité de rendu cartographique autour des technologies SOLAP

présenté par Benoit LE RUBRUS

le 18 juin 2009, à Grenoble, devant le jury :

M. Jean-Pierre GIRAUDIN

M. Eric SELLIN

Mme Véronique PANNE

Tuteur : M. Jérôme GENSEL

## Résumé

SOLAP (*Spatial OLAP*) définit à la fois le concept et la technologie combinant les capacités cartographiques des systèmes d'information géographique (SIG) aux outils d'aide à la décision OLAP (*On-Line Analytical Processing*). La première partie de ce document propose une approche théorique pour présenter la valeur ajoutée de SOLAP sur ses deux composantes. La deuxième partie en déduit les critères d'un outil SOLAP idéal et présente les fonctionnalités de quelques solutions technologiques actuelles. Leur étude comparative oriente alors le lecteur vers un bilan sur la maturité des outils cartographiques associés à l'approche SOLAP.

*Mots-clés* : SOLAP (*Spatial OLAP*) ; SIG (systèmes d'information géographique) ; Informatique décisionnelle ; OLAP (*On-Line Analytical Processing*).

## Abstract

SOLAP (*Spatial OLAP*) concept consists of combining the strengths of GIS (Geographical Information Systems) for cartography with the strengths of OLAP (*On-Line Analytical Processing*) for analysis. The first part of this report presents a theoretical approach to show how SOLAP can help to make better decisions than traditional GIS or BI (Business Intelligence) solutions. The second part finds out evaluation criteria for an ideal SOLAP tool and it provides the main functionalities of some current popular technologies among the geospatial BI tools. A final comparative study based on previous criteria tries to point out a level of maturity for the cartography capabilities of the SOLAP technologies.

*Keywords* : SOLAP (*Spatial OLAP*) ; GIS (Geographical Information Systems) ; Business Intelligence ; OLAP (*On-Line Analytical Processing*).



### *Remerciements*

Je tiens tout d'abord à remercier mon tuteur Monsieur Jérôme Gensel, Professeur à l'Université Pierre Mendès France de Grenoble, de m'avoir proposé un sujet qui m'a permis d'aborder la géomatique par une thématique en plein coeur de l'actualité.

Je remercie tout particulièrement Christine Plumejeaud, thésarde dans l'équipe de Monsieur Gensel, notamment pour sa disponibilité, ses réponses, ses conseils et le suivi de mon travail.

Je remercie également l'association AI CNAM-PST (Association des Ingénieurs du Conservatoire National des Arts et Métiers et de la Promotion Supérieure du Travail) pour leurs services de soutien, de relecture et de soutenance à blanc.

Je remercie enfin tous les enseignants et personnels du CNAM pour leur contribution à mon inestimable enrichissement culturel.

# Sommaire

Abréviations .....	v
Introduction .....	vi
1. L'approche SOLAP .....	1
1.1. Définition et objectif du Spatial OLAP .....	1
1.2. Les systèmes d'information géographique .....	2
1.2.1. L'information géographique .....	2
1.2.2. La cartographie .....	2
1.2.3. Fonctions des SIG .....	3
1.2.4. Capacité analytique des SIG .....	4
1.3. Une composante multidimensionnelle .....	5
1.3.1. L'informatique décisionnelle .....	5
1.3.2. OLAP .....	6
1.4. La combinaison SOLAP .....	9
2. La technologie SOLAP .....	14
2.1. L'outil SOLAP idéal .....	14
2.2. Trois familles de solutions .....	15
2.3. Les produits commerciaux .....	16
2.3.1. JMap Spatial OLAP .....	16
2.3.2. SAS Web Olap for Java .....	18
2.4. L'alternative Open Source .....	18
2.4.1. GeoSOA .....	18
2.4.2. GeoBI .....	19
2.5. Quelques prototypes .....	21
2.5.1. SOVAT .....	21
2.5.2. GOLAPA .....	22
3. Analyse comparative des outils, bilan sur la maturité de l'approche SOLAP .....	23
4. Conclusion .....	25
Glossaire .....	26
A. Structure des bases ROLAP .....	28
B. Sélection de liens utiles .....	30
Bibliographie .....	31

# Liste des illustrations

1.1. Un logo SOLAP .....	1
1.2. Les couches thématiques .....	4
1.3. Les quatre fonctions d'un système décisionnel .....	6
1.4. Exemple : un cube OLAP et le principe d'agrégation .....	8
1.5. Positionnement des outils vis à vis de l'information .....	10
1.6. Représentations des dimensions spatiales gérées par SOLAP .....	10
1.7. Possibilités d'architecture SOLAP .....	11
1.8. Les opérateurs de forage et remontage sur des dimensions spatiales .....	12
1.9. L'opérateur de forage latéral sur une dimension temporelle .....	12
1.10. L'opérateur de pivot sur des dimensions spatio-temporelles .....	12
2.1. La barre d'outils OLAP de JMap Spatial OLAP .....	17
2.2. Interface du prototype de CampToCamp .....	20
2.3. Interface GeoReport .....	21
2.4. Interface SOVAT .....	22
2.5. Interface GOLAPA .....	22
A.1. ROLAP : structure en étoile .....	28
A.2. ROLAP : structure en flocon .....	28
A.3. ROLAP : structure mixte .....	29
A.4. ROLAP : structure en constellation .....	29

# Liste des tableaux

1.1. Comparaison des différentes architectures OLAP .....	9
1.2. Comparaison SIG SOLAP .....	13
3.1. Critères retenus .....	23
3.2. Comparaison des outils présentés .....	24

# Abréviations

Trouvez ci-dessous par ordre alphabétique quelques abréviations fréquemment utilisées dans ce document. Le Glossaire propose une définition pour chacun de ces termes :

- **ETL** : *Extract Transform Load.*
- **GML** : *Geography Markup Language.*
- **HOLAP** : *Hybrid OLAP.*
- **HTML** : *HyperText Markup Language.*
- **ISO** : *International Organization for Standardization.*
- **MOLAP** : *Multidimensional OLAP.*
- **OGC®** : *Open Geospatial Consortium.*
- **OLAP** : *On-Line Analytical Processing.*
- **OLTP** : *On-Line Transaction Protocol.*
- **ROLAP** : *Relationnal OLAP.*
- **SGBD, SGBDR** : *Système de Gestion de Bases de Données (Relationnelles).*
- **SIG** : *Système d'Information Géographique.*
- **SOLAP** : *Spatial On-Line Analytical Processing.*
- **SQL** : *Structured Query Language.*
- **SVG** : *Scalable Vector Graphics.*
- **TCP/IP** : *Transmission Control Protocol/Internet Protocol.*
- **XML** : *Extensible Markup Language.*



# Introduction

Dans les secteurs de l'environnement, des catastrophes naturelles, de la santé, de la gestion des transports ou de la commercialisation, les décideurs manquent d'outils cartographiques simples et puissants pour explorer, synthétiser et analyser des données spatio-temporelles.

A la fin des années 1960, l'informatisation de la production cartographique donne lieu à la naissance d'une nouvelle technologie, la géomatique. Afin de les rendre pleinement exploitables, les données cartographiques s'organisent au cours des années 1980 au sein d'outils appelés systèmes d'information géographique (SIG). Si les SIG reposent en général sur des systèmes de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR), ils proposent entre autres :

- des outils pour la gestion et le traitement des relations spatiales entre les objets ;
- des fonctionnalités pour la représentation sous forme de carte ou plan de l'information géographique.

Issu du domaine de l'informatique décisionnelle, le concept de "processus d'analyse interactif pour l'aide à la décision" OLAP (*Online Analytical Processing*), apparu en 1993, désigne à la fois des bases de données multidimensionnelles et un modèle virtuel de représentation des données appelé hypercube. Le système OLAP offre des opérateurs pour explorer les données, il fournit aux décideurs un outil rapide et simple pour effectuer des analyses complexes. Les outils OLAP offrent à l'utilisateur la représentation des données sous forme de diagrammes et tableaux, mais il leur manque généralement la puissance cognitive de la représentation logique et intuitive des données géographiques sous une forme cartographique.

Pour répondre à ce besoin, une équipe de recherche de l'Université Laval Québec, dirigée par Dr Yvan Bédard, développe depuis 1995 une technologie décisionnelle, le processus interactif d'analyse spatiale, plus communément appelé Spatial OLAP ou SOLAP (*Spatial On-Line Analytical Processing*). Cette solution cherche à combiner la puissance de l'OLAP aux capacités cartographiques des SIG. Deux des objectifs majeurs de la technologie SOLAP sont d'offrir un temps de réponse rapide de l'ordre de quelques secondes et pour être adoptée par les décideurs et analystes, de proposer une interface graphique simple, sans connaissance particulière d'un langage de requête.

Ce document aborde SOLAP suivant deux axes : une présentation théorique puis une revue technologique.

La partie théorique de ce rapport s'organise en définissant successivement les termes de l'équation symbolique **SIG + OLAP = SOLAP**. Après une introduction aux systèmes d'information géographique, le premier chapitre présente le domaine de l'informatique décisionnelle et plus particulièrement le concept OLAP. L'objectif de cette première partie est de cerner la valeur ajoutée de l'approche SOLAP sur les systèmes décisionnels traditionnels.

Une deuxième partie de ce rapport présente les technologies autour de SOLAP. Après avoir défini les fonctionnalités attendues d'un outil SOLAP idéal, cette partie présente quelques solutions mises en oeuvre actuellement. La comparaison synthétique de ces solutions tente alors de mesurer la maturité de l'approche SOLAP et de ses outils de rendu cartographique associés.

La conclusion propose une ouverture sur les perspectives futures de la technologie SOLAP.

# Chapitre 1. L'approche SOLAP

Ce chapitre présente les concepts de l'approche SOLAP : la définition générale et l'objectif mettent en évidence les deux composantes sur lesquelles s'appuie cette théorie : une composante cartographique décrite dans la section "Les systèmes d'information géographique" et une composante multidimensionnelle. La dernière section de ce chapitre resynthétise l'approche SOLAP en situant sa position vis à vis des autres outils, en décrivant sa valeur ajoutée, ses architectures possibles et les bénéfices attendus d'une telle combinaison.

## 1.1. Définition et objectif du Spatial OLAP

De nombreuses données d'entreprise disposent d'une composante spatiale : noms des villes, codes postaux, latitude, etc. Elles fournissent des informations précieuses pour évaluer et mesurer la position, l'étendue et la distribution des phénomènes. Aussi l'information spatiale est-elle organisée et accumulée depuis quatre décennies grâce à la technologie aujourd'hui mature des systèmes d'information géographique (SIG). Les SIG proposent des fonctions évoluées pour l'acquisition, le stockage, l'analyse et l'affichage sous forme de carte de l'information géographique. Leur efficacité pour les analyses complexes est cependant remise en cause, suite aux progrès des solutions issues du domaine de l'informatique décisionnelle. L'informatique décisionnelle propose des systèmes dits analytiques qui reposent sur le paradigme multidimensionnel. Ils s'opposent par là aux systèmes dits transactionnels sur lesquels reposent les SIG. Rapides et simples d'utilisation, les outils décisionnels sont adaptés aux décideurs qui peuvent se concentrer sur leurs analyses plutôt que sur les moyens d'y parvenir. Ainsi, le système OLAP est optimisé pour répondre à des analyses interactives (l'utilisateur agit avec la souris) sur de grandes quantités d'informations, lesquelles sont stockées dans des entrepôts de données dont la structure est dite multidimensionnelle. Les outils OLAP n'exploitent cependant pas ou très peu les données spatio-temporelles, et l'utilisateur ne dispose pas dans ces outils du support cartographique.

Yvan Bédard de l'Université de Laval Québec propose donc depuis 1995 une solution baptisée SOLAP. Le terme s'applique aussi bien au concept qu'à la technologie associée. Il définit SOLAP comme « *une plate-forme visuelle supportant l'exploration et l'analyse spatio-temporelle faciles et rapides des données selon une approche multidimensionnelle, à plusieurs niveaux d'agrégation, via un affichage cartographique, tabulaire ou en diagramme statistique* ».

SOLAP vient en quelque sorte combiner (Figure 1.1) la technologie des systèmes d'information géographique pour le traitement des données géographiques et leur visualisation cartographique avec les outils d'exploration et d'analyse OLAP.

**Figure 1.1. Un logo SOLAP**



Le cylindre symbolise les bases de données relationnelles, le cube les bases de données multidimensionnelles, la Terre les données géospatiales. Source : <http://yvanbedard.scg.ulaval.ca/>

Aussi le principe de SOLAP est-il souvent résumé par l'équation symbolique **SIG + OLAP = SOLAP**. Les sections suivantes présentent successivement les termes de cette équation afin de comprendre précisément les enjeux et la définition de l'approche SOLAP.

## 1.2. Les systèmes d'information géographique

D'après le Journal Officiel du 14 février 1994 [1], la géomatique est définie comme « *l'ensemble des techniques de traitement informatique des données géographiques* ». Elle fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion [2]. Les principales disciplines concernées sont donc la topométrie, la géodésie, la photogrammétrie, la télédétection, la cartographie et l'informatique. Depuis les années 1980, les systèmes d'information géographique se sont imposés comme l'objectif général de la géomatique. Ils englobent l'ensemble des éléments, relations et fonctions liés à l'exploitation des connaissances sur l'espace terrestre.

Avant de décrire les fonctionnalités des SIG, les premières sections présentent plus précisément la notion d'information géographique et le domaine de la cartographie.

### 1.2.1. L'information géographique

La Commission Européenne définit l'information géographique comme « *la représentation d'un objet ou d'un phénomène réel localisé dans l'espace à un moment donné* » [1]. L'information géographique associe aux objets une **thématique** (des critères descriptifs) et/ou une information **spatiale** (leur localisation).

Le niveau thématique définit les entités géographiques à modéliser et dépend du domaine étudié. Il détient l'information relative à la nature ou à l'aspect des objets qui se différencient les uns des autres par un ensemble de caractéristiques intrinsèques, les **attributs** : nom d'une ville, profondeur d'une rivière. Les caractéristiques qui regroupent des objets entre eux suivant des caractéristiques communes sont appelées **relations sémantiques** : par exemple, les sous-préfectures d'un département.

Toute information géographique doit nécessairement préciser le système de localisation dans laquelle elle s'exprime. Ces systèmes de localisation se regroupent en deux classes : de type **direct** et de type **indirect**. Le type direct correspond à un type mathématique : tout point à la surface de la Terre peut être projeté sur une ellipsoïde géodésique, c'est à dire une sphère aplatie aux pôles. Il peut être ainsi repéré par ses coordonnées géographiques angulaires latitude et longitude. Pour représenter la surface terrestre sur une surface plane, on passe des coordonnées géographiques aux coordonnées rectangulaires par une transformation mathématique de projection, par exemple une projection Lambert. Pour un système de localisation indirecte, la description est de type textuel, elle indique le nom d'un endroit ou l'itinéraire pour s'y rendre : l'adresse postale, le numéro de parcelle cadastrale, etc. Pour figurer sur une carte, ces descriptions textuelles nécessitent l'utilisation de **répertoires**, diffusés par des organismes spécialisés comme l'Institut de Géographie Nationale, le Cadastre. Ces répertoires permettent de mettre en correspondance ces systèmes de références indirectes avec les systèmes de références mathématiques.

Pour représenter le monde réel par des objets géographiques, trois primitives géométriques sont essentiellement utilisées : le point, la ligne et la surface. Ces formes géométriques entretiennent des relations spatiales d'intersection, d'inclusion, d'adjacence et de proximité. Le niveau thématique et le niveau spatial des objets sont associés suivant des **relations de construction** (une rivière se construit par un point pour la source, un ensemble d'arcs de sommets et de faces, une forme surfacique pour l'embouchure), des **relations de composition** (un aéroport se compose de pistes, hangars, parkings, etc.) ou des **relations topologiques** (adjacence, connectivité, inclusion).

La carte est le support idéal pour représenter, localiser, analyser et communiquer l'information géographique. La production de carte est l'objectif de la cartographie, introduite dans la section suivante.

### 1.2.2. La cartographie

Colette Cauvin propose une définition précise générale et valable de l'Antiquité à nos jours : la cartographie est « *la discipline scientifique et artistique, avec des concepts, des méthodes et des techniques*

*permettant de représenter sur un plan ou son équivalent, une partie de la surface terrestre ou de toute autre planète, avec ses caractéristiques, ses attributs que l'on peut observer ou extraire, et de faire apparaître, de transmettre ou de communiquer de l'information dans un but précis, à des interlocuteurs définis, au moyen de cette représentation numérique, graphique, visuelle, sonore ou tactile, appelée carte » [3].* Suivant la primauté des domaines et thématiques étudiés, la cartographie peut fournir deux grands types de produit final : la carte topologique pour une physionomie du terrain ou la carte thématique pour la représentation d'information spécifique : carte politique, économique, physique, etc.

Si la cartographie est probablement antérieure à l'écriture, elle connaît un développement prodigieux à partir des années 1960 grâce à la télédétection spatiale et à l'informatique. En outre, depuis l'ère Internet, l'usage du navigateur devient une interface standard pour la visualisation des données géographiques, ouvrant un champ illimité d'applications. La cartographie est devenue depuis les années 1980 une fonction majeure des systèmes d'information géographique.

### 1.2.3. Fonctions des SIG

La norme ISO 5127-1-1983 définit un système d'information comme « *un système de communication permettant de communiquer et de traiter l'information* » : un SIG se spécialise dans l'information géographique. Il est constitué d'un ensemble de ressources humaines, matérielles et logicielles [2], mais on considère plus généralement le SIG comme l'outil informatique permettant d'organiser des données alphanumériques spatialement référencées et de produire des plans ou cartes. Les fonctions du SIG peuvent être résumées par la définition dite des "5A" :

- **Abstraction** : le SIG suppose une modélisation du monde réel ;
- **Acquisition** : cette fonction permet d'alimenter le SIG en données géographiques ;
- **Archivage** : le SIG propose un système de gestion de ces données, c'est la fonction coeur du système ;
- **Analyse** : le SIG propose des fonctions de manipulation, de croisement et de transformation des données (opérateurs topologiques par exemple) ;
- **Affichage** : le SIG propose des outils de mise en forme des résultats : les cartes.

La vocation des SIG est donc d'acquérir, de traiter, d'organiser, d'analyser et d'afficher au sein d'un unique outil un ensemble de données repérées dans l'espace.

Les principaux producteurs de SIG proposent aujourd'hui des versions Web de leur produit : le terme anglais *webmapping* ou "cartographie en ligne", définit les processus de production, de conception, de traitement et de distribution de cartes via le réseau Internet, extranet ou intranet. De plus en plus populaire, la cartographie dynamique en ligne consiste à créer à la volée une image sur la demande de l'utilisateur, par l'intermédiaire d'un serveur cartographique : un "SIG Web". La cartographie en ligne s'inscrit dans une architecture n-tiers de type client-serveur suivant le protocole TCP/IP (*Transmission Control Protocol/Internet Protocol*) :

- le client navigateur Web, muni éventuellement de greffons SVG, Flash, java ;
- le serveur Web gère les requêtes et assemble la page HTML avant de la renvoyer ;
- le serveur cartographique, "SIG Web", chargé de construire l'image. Il peut faire appel à des serveurs distants, à des bases de données spatiales (PostGIS par exemple, extension du SGBD PostgreSQL pour les données spatiales), à des fichiers.

L'expansion des nombreux SIG Open Source notamment dans le domaine de la cartographie en ligne encourage de plus en plus l'utilisation de formats d'échanges standards ouverts. L'**interopérabilité** et la normalisation représentent des enjeux stratégiques évidents, sur le plan commercial, sur le plan politique. Depuis 1994, l'Open Geospatial Consortium, Inc.<sup>1</sup> tente d'apporter des réponses à cette

<sup>1</sup>Open Geospatial Consortium, Inc., OGC® ou OpenGIS® [en ligne] <http://www.opengeospatial.org/> (consulté le 14 mai 2009)

problématique en réunissant les différents acteurs de la géomatique. Elle maintient les spécifications par exemple des services **WMS** (*Web Map Service*) et **WFS** (*Web Feature Service*), très utilisés dans les SIG Web.

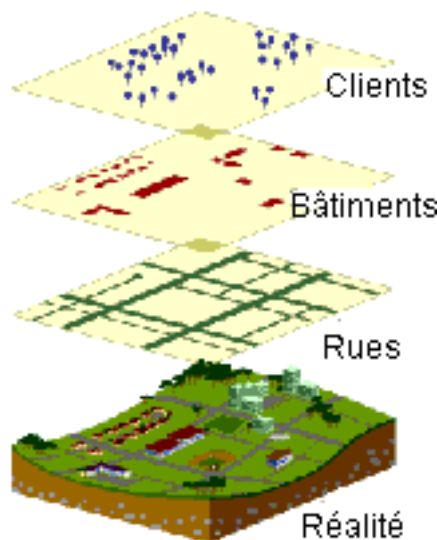
## 1.2.4. Capacité analytique des SIG

Les SIG représentent aujourd'hui le meilleur outil pour le traitement numérique de l'information géographique et leur définition les présente notamment comme des outils d'analyses. Ils disposent en effet de fonctions de manipulation pouvant être considérées comme des fonctions de "pré-analyse" : transformations des données, classification, mesure, recherche, etc. En conséquence, par enchaînement de ces opérations de manipulations, ils proposent des fonctions d'analyse proprement dites (calculs d'auto-corrélation par exemple).

Pourtant, malgré ces capacités potentielles, les SIG sont reconnus dans la littérature en science cognitive comme inadaptés pour supporter des applications décisionnelles [4]. Leur lenteur et leur complexité d'utilisation en sont la cause. Une des raisons techniques justifiant ce constat vient du fait que les SIG reposent sur un système de type transactionnel. Les systèmes transactionnels supportent des bases de données dont les modèles relationnels sont essentiellement conçus pour préserver l'intégrité des données. Les principes d'indexation et de normalisation limitent la redondance des données et les SGBD sont optimisés pour effectuer de nombreuses mises à jour, fréquentes, mais sur peu de données à chaque fois. Les analyses demandent au contraire d'effectuer dans des délais courts des requêtes détaillées, impliquant beaucoup de données à la fois, ce qui nécessite de multiples jointures entre les tables.

Aussi, les SIG utilisent souvent la métaphore des **couches** thématiques pour organiser les données géographiques (Figure 1.2). Une couche regroupe un ensemble d'informations géographiques du même type. Chaque couche peut être l'objet d'une image différente, d'un "calque". Cette structuration rend ces informations a priori superposables, compatibles, combinables et par conséquent analysables. L'outil de visualisation du SIG est capable de fusionner ces calques pour former l'image finale, tant que les repères utilisés et échelles des différentes couches le permettent.

**Figure 1.2. Les couches thématiques**



Informations géographiques représentées suivant 3 couches thématiques : rues, bâtiments, clients.  
Source : [http://www.baiedefortdefrance.org/article.php?id\\_article=6](http://www.baiedefortdefrance.org/article.php?id_article=6) (consulté le 28 avril 2009).

Ce principe des couches est cependant une des raisons qui affaiblissent selon une certaine perspective la capacité d'analyses des SIG : si les analyses portant sur les objets géométriques d'une même couche sont facilitées (par exemple, les intersections entre les objets peuvent être précalculées), l'analyse trans-couches souffre de cette organisation.

En outre, les fonctions de mises à jour des données au sein des SGBDR limitent les possibilités d'analyses devant tenir compte des évolutions spatio-temporelles, de l'historique. Enfin, les interfaces nécessitent généralement l'intervention d'un spécialiste pour interagir avec le système, la connaissance du modèle des données et du langage de requête SQL est donc généralement requise. Malgré leurs capacités, les SIG ne constituent donc généralement pas un outil approprié d'aide à la décision pour l'utilisateur final non informaticien, analyste, politique.

## 1.3. Une composante multidimensionnelle

Après la composante cartographique de l'approche SOLAP, cette section présente sa composante multidimensionnelle, reposant sur le système OLAP. Une brève mais nécessaire introduction au domaine de l'informatique décisionnelle précède cette présentation du "processus d'analyse interactif pour l'aide à la décision" OLAP.

### 1.3.1. L'informatique décisionnelle

L'informatique décisionnelle, *Business Intelligence* ou *Decision Support System* en anglais, peut se définir comme l'ensemble des technologies permettant de traiter, valoriser et présenter les données à des fins de compréhension, d'analyse et de décision [5].

L'informatique décisionnelle s'appuie sur un système d'information décisionnel qui s'oppose ou système d'information transactionnel. Dans une entreprise, chaque service dispose en général de données "métier" dans une ou des bases de données relationnelles. Entre chaque service (logistique, marketing, finance, etc.), les données sont rarement structurées de la même façon. La prise de décision peut également nécessiter des données externes à l'entreprise, par exemple des données diffusées sur Internet. Pour obtenir une vue d'ensemble et permettre aux analystes et responsables de l'entreprise des prises de décision plus pertinentes, les données vont devoir être filtrées, croisées, transformées et reclassées dans un **entrepôt de données** (*datawarehouse*) ou un **entrepôt de marché** (*datamart*) : celui-ci est généralement généré à partir des données globales de l'entrepôt, il en représente un sous-ensemble, regroupant par exemple les données d'un métier particulier.

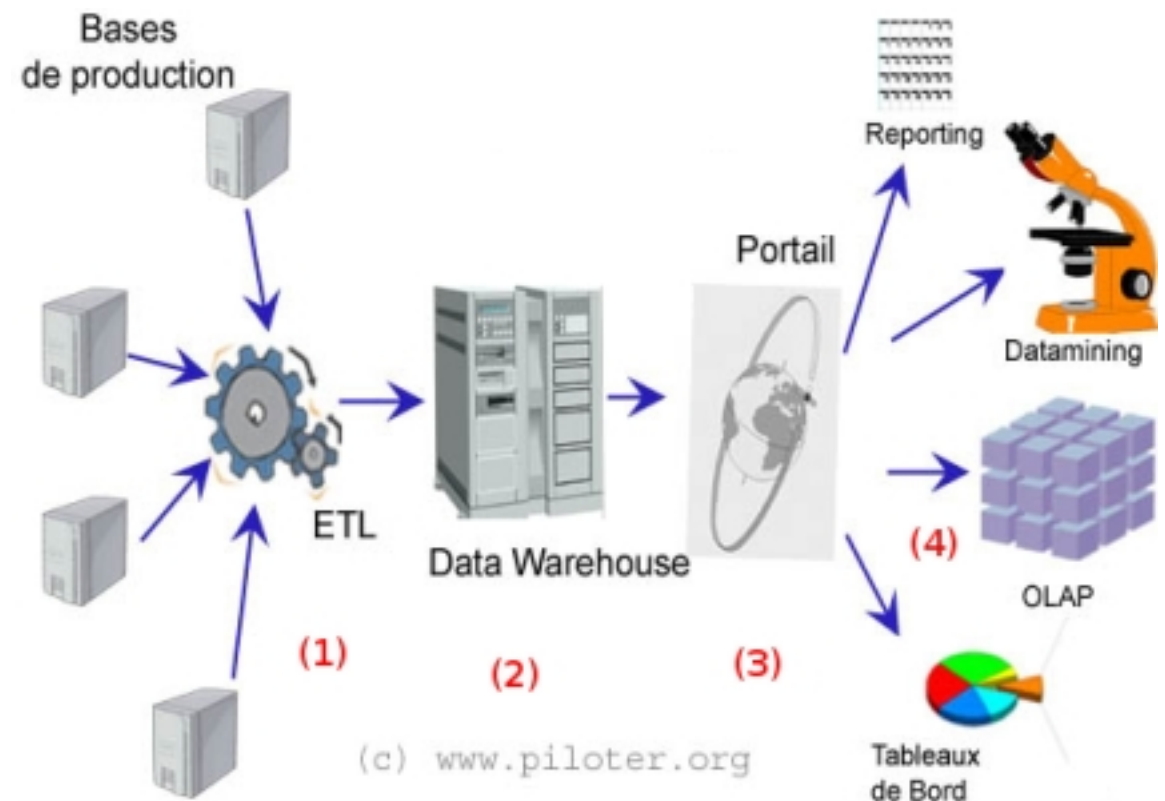
A noter que l'informatique décisionnelle ne vise pas à remplacer les systèmes transactionnels, elle vient plutôt les compléter pour répondre plus efficacement aux besoins d'analyses.

Comme illustré sur la Figure 1.3, un système d'informatique décisionnelle est généralement composé des quatre briques de fonctions suivantes [6] :

1. La **collecte** des données : ce service fait généralement appel à un logiciel ETL (*Extract Transform Load*) pour préparer les données qui seront stockées dans des bases spécialisées par métier et organisées en vue de leur analyse. Le processus ETL se décompose en trois phases :
  - l'extraction des données : aller chercher les données depuis des sources hétérogènes : SGBD, applications, fichiers, pages Web Internet ;
  - la préparation/transformation : vérifier qu'une donnée est cohérente par rapport aux données déjà existantes dans la base cible, la convertir si besoin est ;
  - le chargement : prendre en compte la gestion du format final des données.
2. Le **stockage** des données : les données brutes du SGBDR de production ne se prêtent pas facilement à des analyses, les données sont donc stockées dans les bases spécialisées *datawarehouse* et *datamart*. Bill Inmon est un des créateurs du concept, il définit l'entrepôt de données comme « *une collection de données thématiques, intégrées, non volatiles et historisées pour la prise de décisions* » [6].
3. La **diffusion** ou distribution des données : le portail informationnel décisionnel de l'entreprise (EIP : *Enterprise Information Portal*) ouvre un accès sur l'entrepôt de données. Le portail (Web Services) permet de faciliter l'échange et le partage d'information entre les utilisateurs.

4. L'**exploitation** ou présentation des données : les données sont alors accessibles et exploitables par différentes familles d'outils : des tableaux de bords, des outils de *datamining*, des outils OLAP.

**Figure 1.3. Les quatre fonctions d'un système décisionnel**



Les quatre fonctions : 1) collecte ; 2) stockage ; 3) diffusion ; 4) exploitation. Source : [6].

Les grands principes de l'informatique décisionnelle étant posés, la section suivante s'intéresse plus particulièrement aux principes de l'OLAP pour l'exploration des données stockées dans l'entrepôt.


### 1.3.2. OLAP

Edgar Frank Codd introduit en 1993 le terme OLAP qui « désigne une catégorie d'applications et de technologies permettant de collecter, stocker, traiter et restituer des données multidimensionnelles à des fins d'analyse » [8]. Une définition plus générique suggérée par Nigel Pendse en 1998 se résume dans l'acronyme FASMI (*Fast Analysis of Shared Multidimensional Information*) : "analyse rapide d'information multidimensionnelle partagée" [9]. Codd complète sa définition du concept OLAP par douze règles de conception [6]. Cette liste originale a été complétée depuis par de nombreuses règles complémentaires mais elle constitue toujours une référence :

1. **multidimensionnalité** : la nature conceptuelle du modèle OLAP ;
2. **transparence** : l'utilisateur ne se soucie pas de l'emplacement physique du serveur ;
3. **accessibilité** : la mise à disposition de toutes les données pour l'utilisateur ;
4. **stabilité** : la performance ne dépend pas du nombre de dimensions, les temps de réponses sont constants ;
5. **client-serveur** : l'architecture du système OLAP ;
6. **dimensionnement** : la généricité du dimensionnement, les dimensions sont indépendantes ;

7. **gestion complète** : le serveur assure la gestion des données éparses clairsemées, c'est à dire les valeurs manquantes dans la matrice ;
8. **multi-utilisateurs** : le serveur assure la gestion de mises à jour, d'intégrité et de sécurité pour un support multi-utilisateurs ;
9. **inter-dimensions** : le serveur permet des opérations entre et dans les dimensions ;
10. **intuitivité** : la facilité de manipulation des données ;
11. **flexibilité** : la souplesse pour l'édition et l'affichage des rapports ;
12. **analyse sans limites** : le nombre de dimensions et de niveaux d'agrégation permet des analyses complexes.

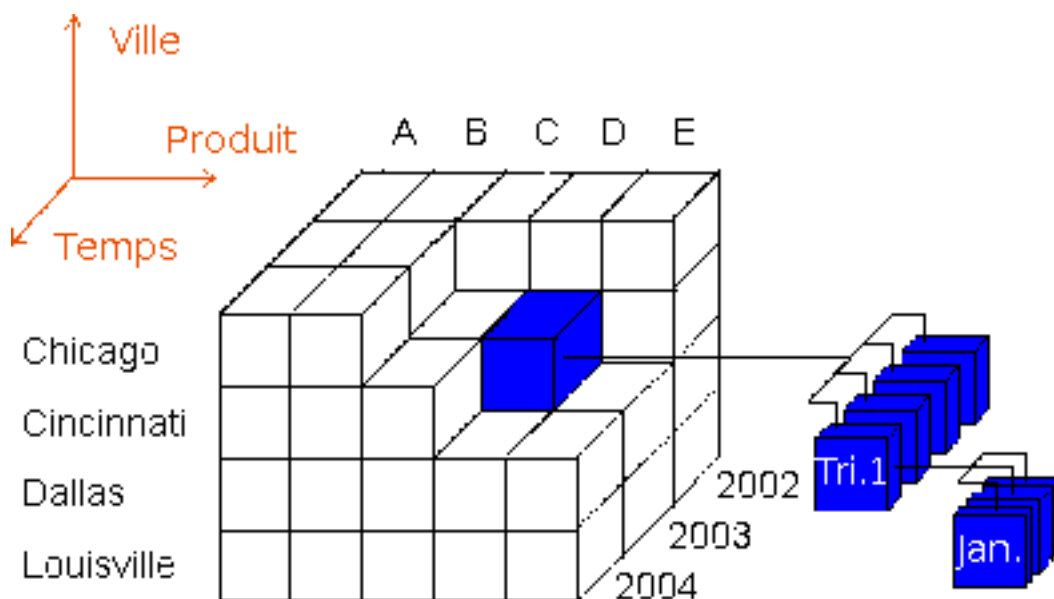
Un système OLAP s'intègre typiquement dans une architecture à trois niveaux : une base de données multidimensionnelle, un serveur OLAP, un client OLAP. Le serveur fournit une vue multidimensionnelle des données, il gère les données agrégées et détaillées et l'ensemble des métadonnées. Le client OLAP offre une interface utilisateur simple, sans connaissance d'un langage de requête pour explorer les données, il affiche les données sous formes de graphiques ou de tableaux.

 Le serveur OLAP interroge une base multidimensionnelle en utilisant généralement le langage MDX (*MultiDimensional eXpression*). Créé par Microsoft, le langage MDX s'encapsule aujourd'hui dans des balises XMLA (*XML for Analysis*). XMLA définit l'accès à des systèmes analytiques comme OLAP ou les outils de *datamining*. Contrairement à SQL, MDX n'est cependant pas maintenu par une organisation indépendante de normalisation et d'après Julian Hyde, fondateur du serveur Mondrian, l'interopérabilité entre clients et serveurs OLAP « n'est pas pour aujourd'hui » [7].

Le concept OLAP s'accompagne d'un vocabulaire spécifique à l'approche multidimensionnelle. Celle-ci introduit tout d'abord la notion de **dimension**, ou axe : il s'agit d'un thème de l'analyse. La dimension modélise un des attributs sémantiques associés aux faits observés : par exemple sa date (dimension temporelle), son lieu (dimension spatiale), sa catégorie (dimension thématique). Une dimension regroupe donc des données du même type. L'**hypercube** est la construction multidimensionnelle formée de la conjonction de plusieurs dimensions indépendantes. Une **mesure** ou "population d'analyse", souvent de type numérique (prix, quantité), correspond à l'hypercube structuré par plusieurs dimensions choisies : pour une mesure à trois dimensions, on peut donc représenter l'hypercube par un cube (Figure 1.4). Une **position** représente la valeur d'une dimension. Le croisement des positions sur chacun des axes d'étude sélectionne une unique **cellule**, ou **fait**.

L'**agrégation** des données est une notion fondamentale de l'OLAP : afin d'optimiser les temps de calcul, les membres d'une même dimension peuvent être organisés en une hiérarchie de relations 1-n, arborescence comparable aux arbres logiques. Les opérations d'agrégation les plus fréquentes sont la somme et la moyenne, elles permettent de calculer rapidement les valeurs associées aux positions parents. Par exemple, on peut décomposer le temps suivant une hiérarchie à trois niveaux : les années au niveau 1, les trimestres au niveau 2, les mois au niveau 3 (voir Figure 1.4). A noter qu'une dimension peut se décomposer suivant plusieurs hiérarchies : l'année pourrait se décomposer en mois puis en jours. L'agrégation des données multidimensionnelles permet de mémoriser le résultat des calculs dans la base et d'augmenter ainsi les performances lors de l'interrogation. En contrepartie, l'agrégation nécessite un espace de stockage conséquent. Par opposition, la notion de **formule** correspond à un calcul effectué à la volée, le résultat n'est pas stocké en base.



**Figure 1.4. Exemple : un cube OLAP et le principe d'agrégation**

La mesure "nombre de produits vendus" repose ici sur trois dimensions : produit, temps, ville. Le fait dans la cellule bleue indique le nombre de produits D vendus en 2003 à Cincinnati. La dimension "temps" est associée à une hiérarchie sur trois niveaux pour agréger les mois en trimestres et agréger ces trimestres en année. Source : à partir de *Oracle* [[http://download-uk.oracle.com/docs/html/B13915\\_04/i\\_olap\\_chapter.htm](http://download-uk.oracle.com/docs/html/B13915_04/i_olap_chapter.htm)] (consulté le 30 avril 2009).

L'hypercube permet donc d'organiser le stockage agrégé des données selon une granularité (un niveau de détails) plus ou moins importante. Le concept OLAP propose des mécanismes dits "opérateurs", pour naviguer dans les hiérarchies. Grâce à leur facilité d'utilisation et leur rapidité, l'utilisateur se concentre sur son analyse et non sur les moyens utilisés à cette fin. Les principaux opérateurs permettent de :

- **pivoter** (*pivot* ou *swap* en anglais) : cet opérateur permet d'interchanger les dimensions ;
- **forer** (*drill-down*) : cet opérateur permet de descendre dans la hiérarchie d'une dimension (exemple : passer de l'année au mois) ;
- **remonter** (*drill-up*) : cet opérateur permet au contraire de remonter dans la hiérarchie d'une dimension (exemple : du mois à l'année) ;
- **forer latéralement** (*drill-across*) : cet opérateur permet de passer d'un membre de dimension à un autre (exemple : telle ville au lieu de telle autre), ou de passer d'une mesure à l'autre (exemple : le nombre de produits ramenés en magasin plutôt que le nombre de produits vendus).

L'architecture d'un système OLAP distingue des approches différentes suivant la technologie employée à son implantation : les approches sans serveur OLAP (bases de données relationnelles), ROLAP (*Relational OLAP*), MOLAP (*Multidimensional OLAP*) et HOLAP (*Hybrid OLAP*, combinaison optimisée des deux premières). Dans le cas de l'approche ROLAP, toutes les données, qu'elles soient détaillées ou agrégées, sont stockées dans une base de données relationnelle. Celle-ci doit alors être structurée selon des modèles particuliers : un modèle en flocon, un modèle en étoile, un modèle dit mixte ou un modèle en constellation (voir l'annexe "Structure des bases ROLAP"). Le serveur extrait alors les données par des requêtes SQL avant de les interpréter en vue multidimensionnelle pour les présenter au module client. Même si les performances de l'architecture MOLAP sont supérieures aux trois autres, ces dernières offrent des performances qui dépassent grandement celles des systèmes transactionnels pour des requêtes de nature décisionnelle [4]. Le Tableau 1.1 compare ces différentes approches.

**Tableau 1.1. Comparaison des différentes architectures OLAP**

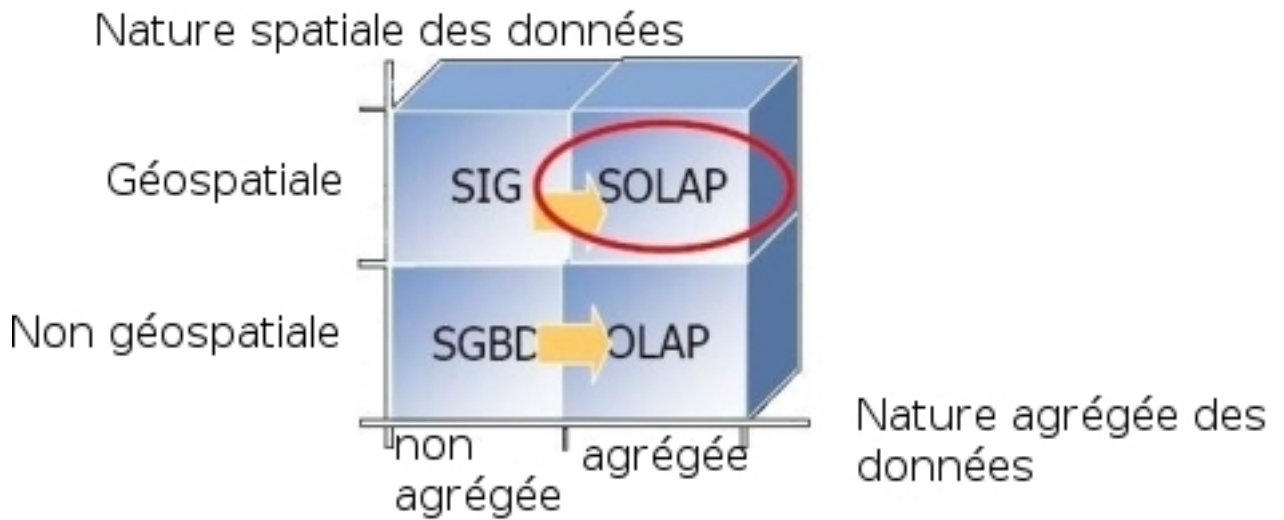
Caractéristiques	Architecture sans serveur OLAP	Architecture Relationnelle-OLAP	Architecture Multidimensionnelle-OLAP
<b>Coût</b>	Coût moindre, car aucun serveur OLAP requis	Nécessite l'achat d'un serveur ROLAP	Nécessite l'achat d'un système de gestion de base de données multidimensionnel et un serveur MOLAP
<b>Structure de données</b>	Simule une structure multidimensionnelle	Simule une structure multidimensionnelle	Supporte une structure multidimensionnelle physique
<b>Préparation des données agrégées</b>	Nécessite plusieurs manipulations et des connaissances particulières	Le serveur se charge de produire les données agrégées	Le serveur se charge de produire les données agrégées
<b>Stockage des agrégations</b>	Nécessite le pré-calcul complet des données	Optimisation des données calculées à la volée des données pré-calculées	Optimisation des données calculées à la volée des données pré-calculées
<b>Optimisation</b>	Aucune. Requiert beaucoup d'espace disque et de temps de pré-calcul	Optimise le temps de pré-calcul, mais peut nécessiter plus d'espace que le MOLAP	Optimise l'espace disque et le temps de pré-calcul

Selon C. Franklin (1992), « environ 80% des données contenues dans les entrepôts de données disposent d'une composante spatiale » [10]. Si les outils OLAP proposent traditionnellement des tableaux et diagrammes pour explorer les données multidimensionnelles d'un entrepôt, de nombreux constructeurs réalisent la valeur ajoutée de proposer en plus une visualisation cartographique. Si par exemple l'utilisateur cherche à considérer un facteur de proximité (ventes en fonction du code postal des clients), la représentation de ces données sur une carte lui fournit une réponse immédiate. La tâche serait ardue dans un tableau. La carte fournit à l'utilisateur une représentation logique et intuitive des données, elle favorise sa compréhension des phénomènes et facilite son processus de pensée et ses découvertes de connaissances. L'utilité de l'intégration de la cartographie au sein des outils d'analyse OLAP est reconnue par un nombre grandissant d'entreprises [11]. La mise en oeuvre efficace et optimisée d'un tel bénéfice est l'objectif de l'approche SOLAP.

## 1.4. La combinaison SOLAP

Le concept OLAP répond aux besoins analytiques en s'appuyant sur une conception multidimensionnelle des bases de données, il s'oppose sur ce point aux SGBD dits transactionnels sur lesquels reposent les systèmes d'information géographique. Les bases de données multidimensionnelles OLAP ne permettent cependant pas la gestion des données géométriques et la représentation cartographique des données. Le concept SOLAP vient donc combiner les deux approches SIG et OLAP (Figure 1.5) en permettant d'intégrer les données géographiques aux bases de données multidimensionnelles :

**Figure 1.5. Positionnement des outils vis à vis de l'information**

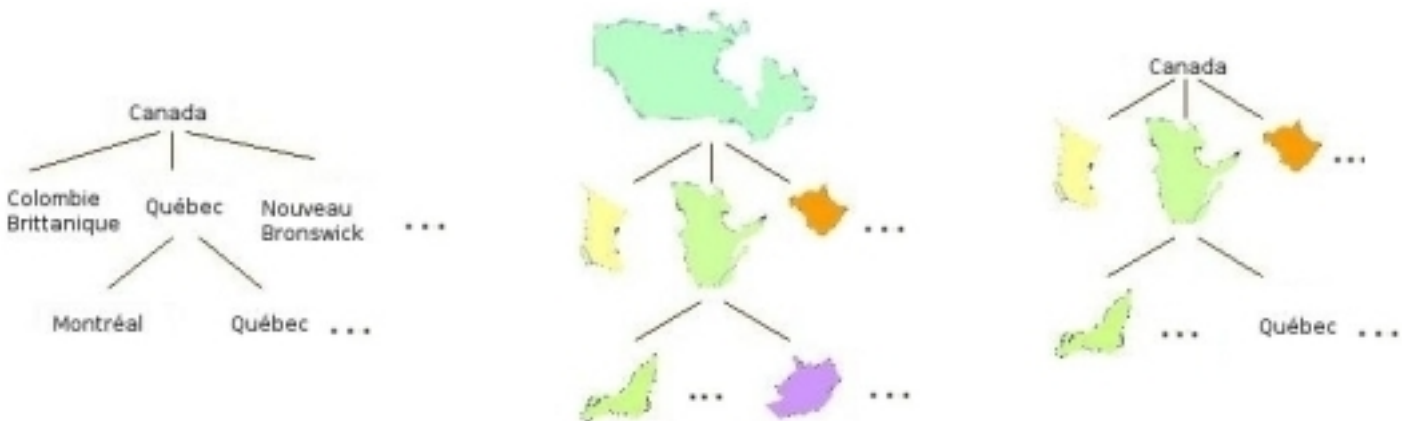


Position relative des différents outils selon la nature de l'information et ses niveaux d'agrégation. Source : [12]

SOLAP ne vise pas à remplacer les SIG, qu'ils soient Web ou en application de bureau, il propose des fonctions supplémentaires en supportant la structure multidimensionnelle. Les deux outils SIG et SOLAP se distinguent essentiellement par la convivialité, la vitesse d'exécution des requêtes et le niveau de détails qu'ils supportent nativement. Quant au bénéfice de SOLAP sur l'OLAP traditionnel, il repose notamment sur la possibilité d'agrégations sur des données spatiales. Un système SOLAP permet de gérer trois types de dimensions spatiales (Figure 1.6) :

- **descriptive** : les membres de la dimension ont une référence spatiale textuelle (nom de lieu par exemple). Note : cette dimension est la seule pouvant être gérée par des outils OLAP classiques ;
- **géométrique** : à tous les niveaux des hiérarchies d'une dimension, les membres ont une composante géométrique référencée dans l'espace ;
- **mixte** : combinaison des deux premières, certains membres comportent une composante géométrique, d'autres une référence spatiale nominale seulement.

**Figure 1.6. Représentations des dimensions spatiales gérées par SOLAP**



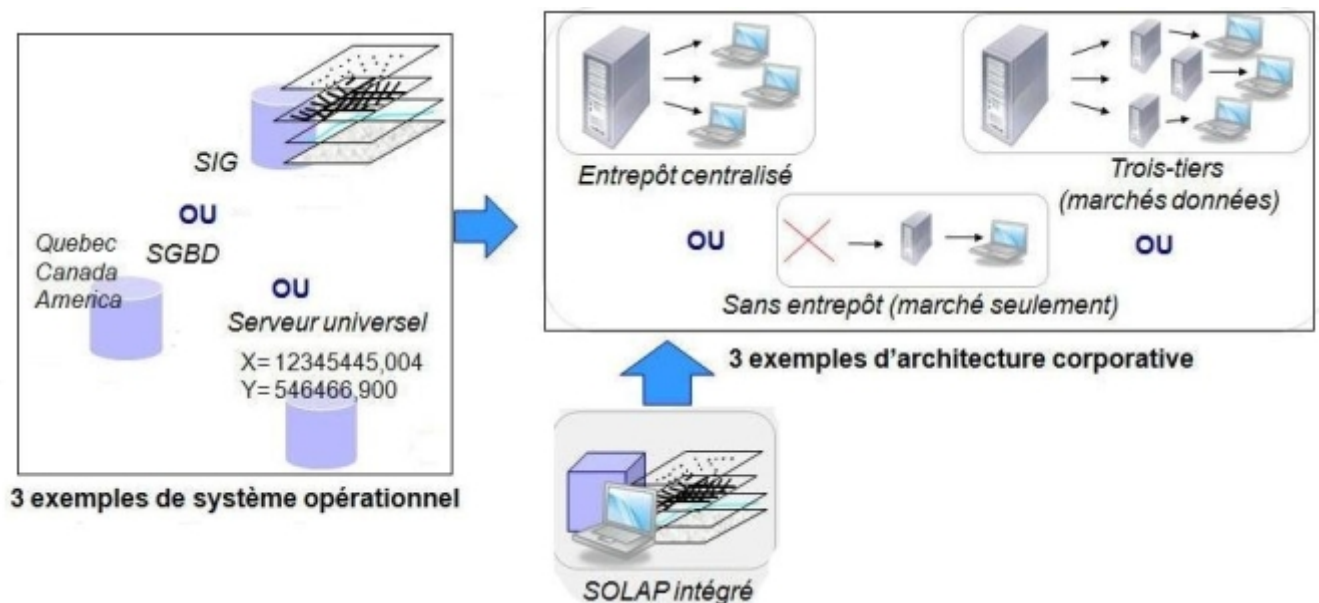
Le Canada est représenté ici par des hiérarchies basées sur des dimensions spatiales, de gauche à droite : descriptive, géométrique et mixte. Source : à partir de [13]

A partir de l'intégration de ces dimensions spatiales dans la base multidimensionnelle, SOLAP va permettre deux types de mesures :

- Une **mesure spatiale** correspondant à un ensemble de coordonnées : intersection ou union d'une sélection de plusieurs formes géométriques parmi plusieurs dimensions choisies. Par exemple, une mesure spatiale peut consister à déterminer les polygones agrégés résultats d'intersections entre une combinaison de positions d'une dimension "végétation" et d'une dimension "géologie". Ces opérations peuvent nécessiter de stocker dans la base multidimensionnelle des pointeurs vers des structures géométriques externes (dans une autre structure ou un logiciel).
- Une **mesure topologique** : distance, surface ou "nombre de voisins". Les dimensions spatiales peuvent être organisées de façon à proposer les résultats de ces opérations topologiques suivant des hiérarchies : par exemple une opération d'adjacence pourra être décomposé en deux sous-niveaux, "adjacence par plusieurs points", "adjacence par un point".

Les outils SOLAP représentent donc une nouvelle famille d'outils, conçus comme des applications clients (Web ou bureau) exploitant les cubes de données (détaillées et agrégées) construits à partir des entrepôts de données spatiales. L'architecture d'un système SOLAP s'articule de façon analogue à celle d'un système OLAP, suivant trois tiers, comme représentés sur la Figure 1.7.

**Figure 1.7. Possibilités d'architecture SOLAP**



Le tiers "Architecture corporative" correspond à la base multidimensionnelle. Le tiers "système opérationnel" au concept OLTP. Source : à partir de [4]

En plus des diagrammes et tableaux alphanumériques disponibles nativement dans le système OLAP, le système SOLAP va donc permettre à l'utilisateur une nouvelle représentation des données sous la forme de carte(s). Grâce à l'intégration des dimensions spatiales, l'utilisateur dispose des opérateurs OLAP pour interagir avec ces données, par des simples clics de souris : forage, remontage (Figure 1.8), forage latéral (Figure 1.9), pivot (Figure 1.10).

**Figure 1.8. Les opérateurs de forage et remontage sur des dimensions spatiales**



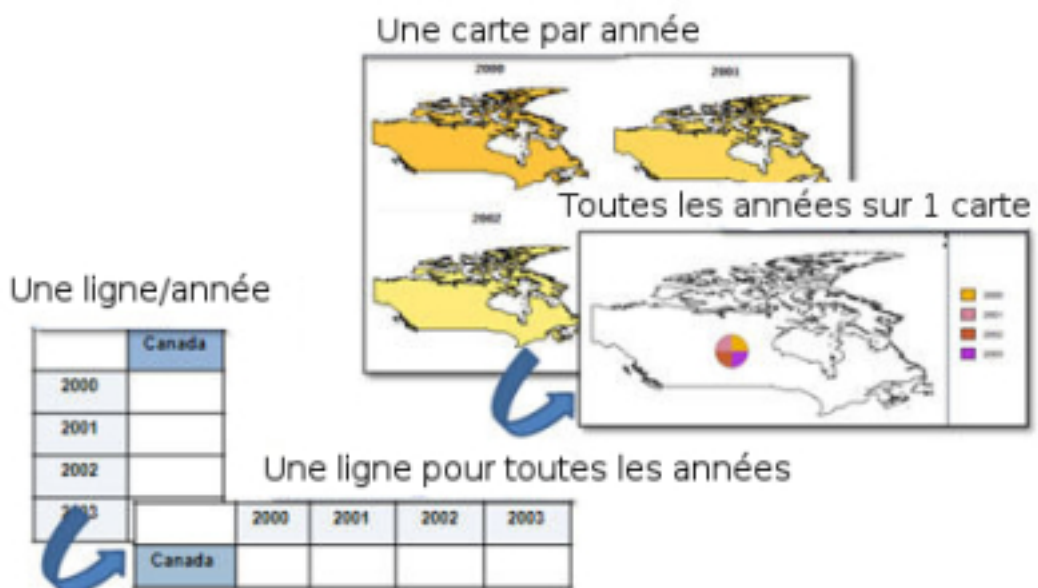
En deux clics, l'utilisateur passe d'un niveau général à un niveau local (en rouge, *drill-down*), ou inversement (en bleu, *roll-up*). Source : à partir de [12].

**Figure 1.9. L'opérateur de forage latéral sur une dimension temporelle**



L'utilisateur navigue ici parmi les membres d'un même niveau (*drill-across*). Source : [12].

**Figure 1.10. L'opérateur de pivot sur des dimensions spatio-temporelles**



L'utilisateur "pivote" ici les lignes et colonnes du tableau de données spatio-temporelles. La représentation cartographique est modifiée en conséquence. Source : à partir de [15].

Le Tableau 1.2 résume les principales différences entre l'approche transactionnelle dite OLTP (*On-Line Transaction Processing*) des SIG et l'approche SOLAP, en considérant les usagers visés, les processus, le type et l'architecture des données [13] et [4].

**Tableau 1.2. Comparaison SIG SOLAP**

Critère	OLTP-SIG	SOLAP
Type d'usage	Niveau opérationnel	Niveau décisionnel
Pré-requis	Connaissance d'un langage de requête (et du modèle de données) et des fonctions SIG	Etre à l'aise dans la navigation de type hyper-lien
Apprentissage	Jours	Heures
Construction des requêtes	Hétérogène : SQL et fonctions SIG	Homogène : clics de souris
Temps d'exécution des requêtes	Variable : dépend de la complexité, du nombre de tables mises en jeu dans les jointures	Stable : peu importe la complexité grâce à la structure multidimensionnelle
Exploration des données	Discontinue (hétérogénéité SQL-fonctions SIG + temps d'exécution)	Continue grâce aux opérateurs de forage et du temps d'exécution
Priorité	sécurité et intégrité des données	analyse et exploration des données
Optimisé sur	le rapport espace de stockage sur quantité de données.	le temps de réponse aux requêtes
Finesse des données	Détaillées	Détaillées et agrégées
Temporalité	Uni-époque	Multi-époque
Technologies	Relationnelle	Relationnelle ou multidimensionnelle
Architecture	Bases de données normalisées, pas de redondance	Redondance des données encouragée pour des gains de performance
Volume de données	Espace minimisé par la structure normalisée	Grand volume engendré par le stockage des agrégations
Source de données	Acquisition de données	Intégration sous la forme d'un entrepôt ou marché de données
Gestion de l'historique	Par la mise à jour des occurrences	Par l'ajout de nouvelles données (historique conservé)
Mise à jour	fréquente (transactions)	contrôlée (données pré-agrégées en mode lecture)

# Chapitre 2. La technologie SOLAP

En s'appuyant sur l'approche théorique du concept SOLAP, ce chapitre propose une série de fonctionnalités attendues d'un outil SOLAP idéal. Les sections suivantes présentent ensuite les principales fonctionnalités de quelques solutions mises en oeuvre actuellement, d'une part dans des produits commerciaux, d'autre part dans la catégorie des logiciels libres, puis dans le cadre de la recherche.

## 2.1. L'outil SOLAP idéal

Les fonctionnalités d'un outil SOLAP idéal sont regroupées ici suivant trois familles de critères souhaitables.

1. La première famille de critères considère les possibilités relatives à la visualisation des données :
  - plusieurs types d'affichage : tableaux, diagrammes statistiques horizontaux ou verticaux, "cammemberts", cartes simples pour représenter des éléments sélectionnés parmi une dimension, cartes multiples pour visualiser par exemple l'évolution temporelle d'un phénomène, cartes avec des diagrammes en surimpression ;
  - synchronisation des opérations entre les différents affichages : l'utilisateur observe l'information sous différentes perspectives, par exemple un tableau pour les détails, un diagramme pour comparer, la carte pour établir des corrélations spatiales. Pour ne pas perturber son processus d'analyse, les différentes représentations doivent rester cohérentes entre elles. Une opération effectuée sur un type d'affichage se répercute automatiquement sur les autres (exemple : un forage depuis une carte implique un rafraichissement des tableaux ou diagrammes) ;
  - représentation de plusieurs mesures à la fois : ce critère implique la construction de cartes complexes ;
  - affichage de données de contexte : possibilité d'obtenir de l'information supplémentaire, non représentée dans les diagrammes ;
  - gestion de la sémiologie graphique : l'utilisateur doit pouvoir personnaliser une charte graphique de couleurs associées aux catégories de données et types de variables, les couleurs définies doivent rester cohérentes entre les différentes représentations ;
  - légende interactive avec des possibilité de modification.
2. La seconde famille de critères considère les possibilités liées à l'exploration des données :
  - opérations d'exploration disponibles dans tous les affichages : l'utilisateur doit pouvoir utiliser les opérateurs OLAP (forage, etc.) depuis les diagrammes, tableaux et cartes ;
  - fonctions d'analyse spatio-temporelle métriques et topologiques ;
  - gestion de la dimension temporelle à l'aide d'une ligne du temps ;
  - ajout de mesures calculées ;
  - filtrage sur les membres des dimensions : multiples possibilités de sélections.
3. Cette troisième famille de critères considère les différents supports proposés quant aux structures des données :
  - support pour plusieurs dimensions spatiales géométriques à la fois : une mesure peut nécessiter par exemple la prise en compte d'une dimension de réseau électrique (des lignes) et d'une dimension de départements (des polygones) ;

- support pour toutes les primitives géométriques et leurs complexes : l'ISO (*International Organization for Standardization*) propose le schéma 19107 qui définit un ensemble de types de données spatiales (points, réseaux de lignes et de polygones, etc.) et d'opérateurs associés ;
- support pour la généralisation automatique et la représentation multiple : le processus de généralisation consiste à pouvoir réduire la complexité de la carte en fonction de l'échelle, en gardant une certaine qualité esthétique. La généralisation demande des calculs complexes qui peuvent être pré-calculés et stockés dans une base de données à représentations multiples : elle stocke le même phénomène à différents niveaux de détails thématiques et géométriques ;
- support pour le stockage des données géométriques historiques : implique de tenir compte des éventuelles variations des dimensions dans le modèle multidimensionnel (exemple : l'URSS disloqué en 15 nouveaux pays) ;
- support pour différentes sources de données : lors du processus d'intégration des données spatiales, le système doit pouvoir manipuler la plupart des formats fournis par les principaux constructeurs (.shp d'ESRI, .MIF/MID de Mapinfo, etc.).

De surcroît, ces familles de critères peuvent être complétées par des considérations liées aux performances : la solution est-elle suffisamment rapide (moins de dix secondes dans tous les cas) ? Quelles quantités de données supporte-t-elle de manipuler sans dégradation ? La définition de l'approche SOLAP suggère également sa simplicité : qu'en pense l'utilisateur final ?

Une série de considérations liées à l'architecture de la solution peut également être menée : accès Web, application de bureau, quelles possibilités pour une application mobile ? Quelle compatibilité entre le client et les serveurs OLAP, quels types de SIG peuvent être combinés ? Dans une version Web, quelle charge d'utilisateurs le serveur supporte-t-il, avec quel niveau de sécurité quant à l'accès aux données (confidentialité, gestion des droits en lecture écriture) ?

En outre, l'organisation désirant déployer une solution SOLAP peut requérir un ensemble de critères liés à la qualité et aux principes du génie logiciel : l'outil est-il suffisamment générique pour répondre à de nombreux besoins ? Quelle évolutivité propose-t-il, via des bibliothèques, des API (*Application Programming Interface*), moyennant quel effort de développement, quelles technologies, quels standards, quel support ?

La liste de critères de l'outil SOLAP idéal est donc ici loin d'être exhaustive. Avant d'aborder dans le prochain chapitre une analyse comparative, les sections suivantes présentent quelques grandes tendances de solutions mises en oeuvre actuellement.

## 2.2. Trois familles de solutions

En avril dernier, le quatrième Salon Business Intelligence de Montréal démontrait que les technologies géospatiales décisionnelles sont de plus en plus mises en avant par les grands fournisseurs SIG traditionnels, et par « *les plus gros joueurs de la BI (Information Builders, SAP Business Objects, SAS)* » [11]. Aussi, les partenariats se multiplient entre les deux mondes, mais cette diversité de solutions confirme une étude en 2000 du LGS Group qui propose de classer ces divers outils suivant trois familles [16] :

- les **OLAP-dominants** (exemples : TargIT, Tableau Software) : issus du domaine de l'informatique décisionnelle, ces outils fournissent toutes les fonctionnalités d'un outil OLAP au sein d'une interface graphique OLAP, mais les fonctions des SIG se réduisent généralement aux fonctions d'affichage, de navigation cartographique (échelle, déplacement) et de sélection d'éléments géométriques.
- les **SIG-dominants** (exemples : Microsoft OLAP ADDIN for MapPOINT, MapInfo Location Intelligence, Integeo MapIntelligence) : toutes les fonctionnalités SIG sont offertes, elles peuvent accéder à des sources de données OLAP mais les opérateurs OLAP pivot et forages cartographiques sont inexistantes ou limités. Ces solutions couplent généralement une base de données relationnelle simulant un serveur OLAP et un logiciel SIG ou un outil de visualisation de données spatiales.



- les solutions **intégrées** : elles font appel autant aux fonctions OLAP que SIG, leur coordination et synchronisation sont effectives.

Partant de ce constat, l'équipe d'Yvan Bédard [17] a réalisé une étude à l'été 2007 afin d'évaluer les produits commerciaux des principaux vendeurs. L'objectif de cette étude était d'identifier les solutions les plus complètes pour l'analyse géospatiale décisionnelle. La section "Les produits commerciaux" s'appuie sur son étude pour présenter deux solutions "intégrées". Si cette étude permet de repérer les solutions les plus intéressantes, l'offre Open Source en est cependant écartée. La section "L'alternative Open Source" décrit ensuite les fonctionnalités de quelques solutions dominantes dans cette catégorie.

## 2.3. Les produits commerciaux

L'étude précédemment citée d'Yvan Bédard et son équipe a été réalisée sur dix produits commerciaux combinant des capacités d'analyse multidimensionnelle et de cartographie. Les critères retenus lors de cette étude ont pour objectif de pouvoir aider une organisation à effectuer un choix de produit. Ces critères croisent en partie ceux évoqués dans la section "outil SOLAP idéal" et portent sur deux aspects :

1. L'**architecture supportée** est le premier aspect. Il prend en compte les composants cartographiques intégrables parmi les formats de données spatiales des principaux SIG, le type d'accès à la composante multidimensionnelle (serveur OLAP ou non, client OLAP ou non, accès à un schéma en étoile dans un SGBDR).
2. La **richesse des fonctionnalités** est le deuxième aspect, considérant à la fois les mots-clés de la définition SOLAP et des possibilités entrevues pour l'outil idéal. Les critères sont :
  - la structure de l'hypercube spatial supportée : le(s) type(s) de dimensions spatiales supportées (géométrique, descriptive, mixte : voir Figure 1.6) ;
  - l'existence d'une aide utilisateur (*Wizard*) pour configurer depuis l'application les dimensions et hiérarchies à considérer (simplicité d'utilisation) ;
  - les opérateurs de forage supportés (voir Figure 1.8) et à quel niveau de détail : sur un membre, sur une sélection de différents membres ou sur un niveau entier ;
  - la richesse des types de cartes : simples (figures géométriques représentant une seule dimension) ; multicartes (représentant un espace sur plusieurs années par exemple) ; cartes avec des camemberts ou diagrammes ; cartes thématiques complexes avec les résultats de plusieurs mesures figurés par des couleurs, des formes différentes ;
  - la possibilité de création automatique de cartes "intelligentes" : respect des règles et codes de couleurs définis par l'utilisateur tout au long des opérations de forage ;
  - l'opérateur pivot appliqué aux cartes.

Ces deux grilles d'évaluations permettent donc d'identifier le(s) produit(s) qui répond(ent) au mieux aux besoins des entreprises désirant déployer une technologie géodécisionnelle. Les résultats de cette étude de veille technologique font l'objet d'un document confidentiel [17], mais une synthèse de ces résultats est cependant disponible en ligne <sup>1</sup>. Selon cette synthèse, quasiment tous les produits étudiés, quand ils ne sont pas écartés, se retrouvent parmi les deux familles SIG-dominants ou OLAP-dominants. Seuls deux produits sont considérés comme des vraies solutions SOLAP "pleinement intégrées" : **JMap Spatial OLAP** et **SAS Web Olap Viewer For Java**.

### 2.3.1. JMap Spatial OLAP

Le logiciel JMap Spatial Olap est une solution propriétaire ouverte ayant été l'objet en 2005 d'un transfert technologique entre l'Université de Laval Québec et la société Kheops. JMap Spatial Olap

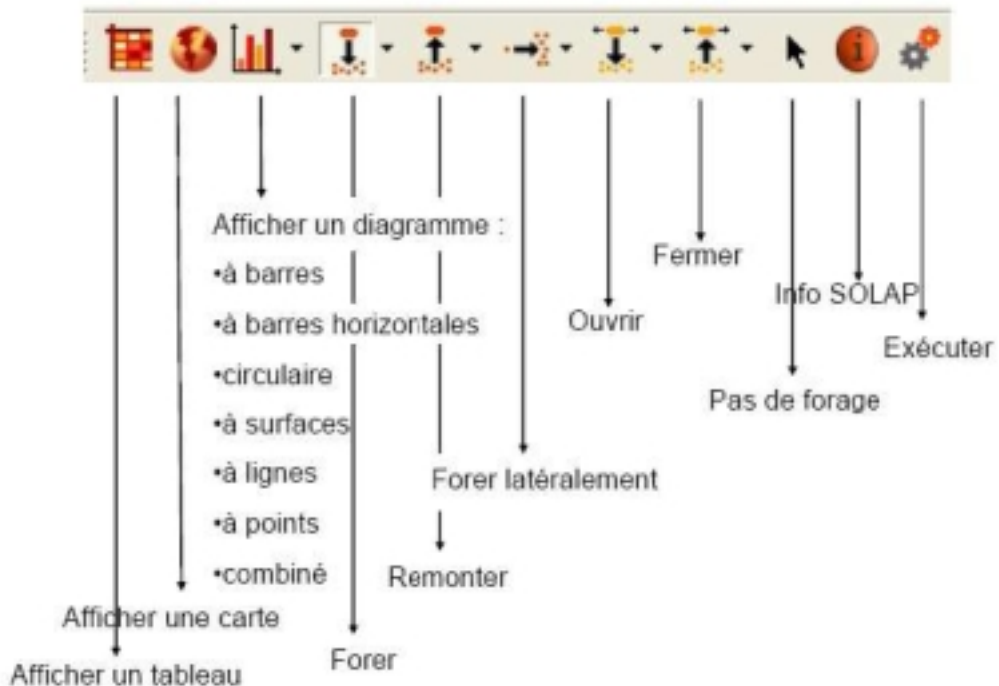
<sup>1</sup>*Spatial OLAP: Major vendors products* [en ligne] <http://spatialolap.scg.ulaval.ca/DevApproaches.asp> (consulté le 15 mai 2009).

est en quelque sorte le résultat le plus abouti de travaux sur des prototypes précédents qui ont pu être déployés par l'équipe d'Yvan Bédard dans différents secteurs. Ces différents prototypes illustrent la variété de combinaisons technologiques qui ont pu être utilisées :

- **ICEM/SE (2002)** : Interface Cartographique pour l'Exploration Multidimensionnelle des indicateurs de Santé Environnementale D'après [13], il utilise la base de données Access pour le support multidimensionnel, SoftMap comme logiciel de cartographie et Visual Basic comme langage de développement.
- **MTQ routier** (Ministère des Transports du Québec, 2005 ?) : prototype SOLAP déployé « dans le cadre de la problématique de l'érosion des berges et de la protection des routes côtières ». D'après [13], ce projet a combiné les technologies SQL Server Analysis services, ProClarity, Geomedia et Visual Basic.

Aussi JMap Spatial OLAP est-il présenté sur le site de Khéops comme « la toute première technologie Web qui intègre complètement les dimensions géospatiales dans un environnement d'aide décisionnelle » [21]. Les différentes présentations de JMap Spatial OLAP reprennent tous les mots-clés du SOLAP définis par Yvan Bédard, l'outil propose tous les critères "richesse des fonctionnalités" de l'étude réalisée à l'été 2007. Le produit est livré avec deux interfaces clientes, une destinée à l'administrateur, une destinée au client. L'environnement JMapWebAdmin permet de gérer les relations entre les dimensions spatiales et l'hypercube. Son utilisation requiert des rudiments en ce domaine [22], mais les opérations sont réalisées à l'aide de la souris uniquement. Le client SOLAP dispose des outils cartographiques de JMap (utilisation et contributions sur la bibliothèque de fonctions JavaScript *OpenLayers* côté client prévues à partir de la version 4.0) et la navigation dans l'hypercube est opérée en cliquant les icônes d'une barre d'outils (Figure 2.1). Les captures d'écran JMap sont omniprésentes dans la littérature SOLAP et témoignent indéniablement de la puissance de l'outil quant à ses possibilités de représentations de cartes multiples et complexes.

**Figure 2.1. La barre d'outils OLAP de JMap Spatial OLAP**



Les outils de navigation SOLAP, extrait du mode d'emploi du client SOLAP. Source : [22].

## 2.3.2. SAS Web Olap for Java

SAS Web Olap Viewer for Java est une application Web qui permet de visualiser et d'explorer des données OLAP depuis un navigateur. Elle repose sur la collaboration de deux acteurs majeurs du monde décisionnel (SAS) et des SIG (ESRI). Selon la présentation commerciale du produit [23], le logiciel SAS Web Olap Viewer for Java est livré en tant que composant du serveur SAS BI Server ou SAS Enterprise BI Server et requiert le SIG ESRI ArcGis Server 9.0 Service Pack 2. Côté client, Windows 2000, Professional ou XP et Internet Explorer 5.5 ou plus sont requis.


Toujours selon le document de présentation du produit, SAS Web Olap for Java propose d'explorer facilement les données à travers les hiérarchies grâce aux opérateurs OLAP (forage etc.). L'exploration est interactive depuis les différentes représentations des données proposées sous formes de tableaux diagrammes et cartes. Ces différentes représentations des données sont synchronisées autant dans le contenu que vis à vis des codes définis pour les couleurs. Les couleurs sont personnalisables pour se conformer aux chartes définies au sein des différentes entreprises. L'outil propose la possibilité d'adapter les vues multidimensionnelles selon les besoins des analyses pour calculer, trier, additionner, appliquer des filtres sur des nouvelles mesures.

En outre, SAS Web Olap for Java propose des outils de sauvegarde, de publication et d'export des résultats à travers le logiciel SAS Web Report Studio, permettant de partager des documents dits *Data Explorations*. Les tableaux peuvent être exportés au format Excel, les différentes vues au format PDF. Ces utilitaires d'export, tout comme la batterie de fonctions (courant en application Web) pour la gestion des droits d'accès aux données, n'ont pas été mentionnés dans les documents consultés pour présenter les autres solutions de ce document.

## 2.4. L'alternative Open Source

La société Pentaho <sup>2</sup> fournit depuis 2005-2006 une suite d'outils dédiés à l'informatique décisionnelle. Cette suite contient notamment deux logiciels développés en langage java :

- **Kettle**, développé sous une licence LGPL, est un outil ETL pour intégrer des données provenant de sources hétérogènes vers un entrepôt de données (voir "Section 1.3.1"). Kettle manipule les types de données classiques SQL (entiers, chaînes de caractères, etc.) ;
- **Mondrian**, sous licence CPL, est un serveur OLAP, il permet de traiter des requêtes multidimensionnelles sur un entrepôt de données. Il propose une extension du langage de requêtes multidimensionnelles MDX (*Multi-Dimensional eXpressions*) et permet d'interroger via des connexions JDBC (*Java Database Connectivity*) des bases multidimensionnelles implémentées suivant une structure ROLAP.

 [en ligne] LGPL : *Gnu Lesser General Public License* [<http://www.gnu.org/copyleft/lesser.html>] (consulté le 26 mai 2009).

[en ligne] CPL : *IBM Common Public License* [<http://www.ibm.com/developerworks/library/os-cplfaq.html>] (consulté le 26 mai 2009).

La suite de logiciels de Pentaho est actuellement une référence pour les produits voués au géodécisionnel : tableaux de bords, *datamining*, SOLAP. Les deux sous-sections suivantes présentent quelques projets Open Source liés à SOLAP en les répartissant suivant deux groupes, cette répartition étant relativement arbitraire car de forts liens existent entre ces différents projets.

### 2.4.1. GeoSOA

Le groupe de recherche **GeoSOA** <sup>3</sup> (dirigé par Thierry Badard à l'Université de Laval Québec) développe actuellement deux logiciels à partir respectivement de Kettle et Mondrian :

- **GeoKettle** : un outil ETL supportant les données spatiales (sous licence LGPL, comme Kettle) ;

<sup>2</sup>Pentaho Open Source business intelligence [en ligne] <http://www.pentaho.com> (consulté le 15 mai 2009).

<sup>3</sup>GeoSOA [en ligne] <http://geosoa.scg.ulaval.ca/> (consulté le 15 mai 2009).

- **GeoMondrian** : un serveur OLAP spatial (sous licence CPL, comme Mondrian).

GeoKettle est donc l'extension de Kettle pour optimiser la gestion des données géospatiales. Un objectif de GeoKettle est de supporter à terme les différents formats de données géospatiales hétérogènes fournis par les principaux SIG : fichiers constructeurs ( .MIF /MID pour MapInfo ; .shp pour ArcInfo), fichiers au format XML (GML *Geography Markup Language*, KML *Keyhole Markup Language*) et bases de données spatiales. PostGIS, Oracle Spatial et MySql sont ainsi supportés depuis la version 3.1.0 du 3 novembre 2008.

Entre autres évolutions, la version 3.1.0 de GeoKettle définit un nouveau type de champ pour transformer et charger les données géospatiales dans un entrepôt de données spatiales : le type `Geometry`. Ce type d'objet est directement implémenté en se basant sur l'API (*Application Programming Interface*) **JTS** (Java Topology Suite <sup>4</sup>). L'intégration de cet API contribue à une amélioration significative des performances de l'outil et permet également l'utilisation efficace de fonctions topologiques (intersection, égalité, inclusion, chevauchement, "touche", etc).

En outre, cette distribution permet la lecture des fichiers *Shapefiles* du SIG ArcView. GeoKettle interprète les champs numériques représentant les coordonnées en tant qu'objets du type `Geometry`. Le support en lecture seule de ces *Shapefiles* est réalisé grâce au projet Open Source **GeoTools** <sup>5</sup>. Le support en écriture de ce format (ainsi que des formats MapInfo TAB, GML) est prévu pour la prochaine distribution dont une présentation était prévue pour le 15-16 mai 2009 [19]. Une petite démonstration de l'outil en action est d'ores et déjà disponible en ligne (voir annexe Sélection de liens utiles).

GeoMondrian est l'extension du serveur OLAP Mondrian pour la gestion des dimensions géométriques. Les objectifs de GeoMondrian sont :

- d'implémenter nativement sur Mondrian un type de données "MDX géospatial", permettant ainsi : d'uniformiser la manipulation des données géographiques en s'affranchissant de la base de données spatiales utilisées ; de développer des extensions pour faciliter les analyses et les fonctions d'agrégation spatiales ;
- de finaliser une solution géodécisionnelle complète avec le développement d'un client Web tableau de bord combinant tableaux croisés, diagrammes et affichages cartographiques.

GeoMondrian devrait donc devenir le premier serveur SOLAP Open Source manipulant nativement les requêtes multidimensionnelles spatiales. Une vidéo démonstration en ligne (voir l'annexe Sélection de liens utiles) permet de voir GeoMondrian en action à travers un prototype de tableau de bord analytique spatial. On peut espérer la sortie prochaine d'un outil SOLAP basé sur GeoMondrian : **Spatialytics**. Initialement développé dans le cadre d'un projet *Google Summer of Code* (2008), Spatialytics fait actuellement l'objet de recherches au sein du groupe de recherche GeoSOA. Spatialytics est le composant client pour visualiser les données SOLAP, il utilise **OpenLayers** comme module cartographique. Spatialytics et GeoMondrian feront l'objet de démonstrations lors de leur présentation à **FOSS4G 2009** (*Free and Open Source Software for Geospatial*, du 20 au 23 octobre 2009 à Sydney [en ligne] <http://2009.foss4g.org/> (consulté le 20 mai 2009).

## 2.4.2. GeoBI

**GeoBI** (GeoSpatial Business Intelligence) est "un" projet Open Source soutenu par la société INOVA <sup>6</sup>. Comme son nom le suggère, l'objectif de GeoBI est de réunir les deux mondes des SIG et de l'informatique décisionnelle. INOVA concentre son attention sur les technologies java et les standards de l'OGC® (WMS, etc.), les produits d'intégration géodécisionnelle (Pentaho, GeoKettle, GeoMondrian) et les produits des SIG Web OpenLayers, Mapfish et Geoserver.

Le projet GeoBI se compose actuellement de trois modules : **GeOLAP** (pour la visualisation de résultats d'analyses multidimensionnelles sur une carte via le Web), **GeoReport** (génération de rapports, diagrammes et indicateurs sur cartes, via Web) et **GeoETL** (outil ETL) [20].

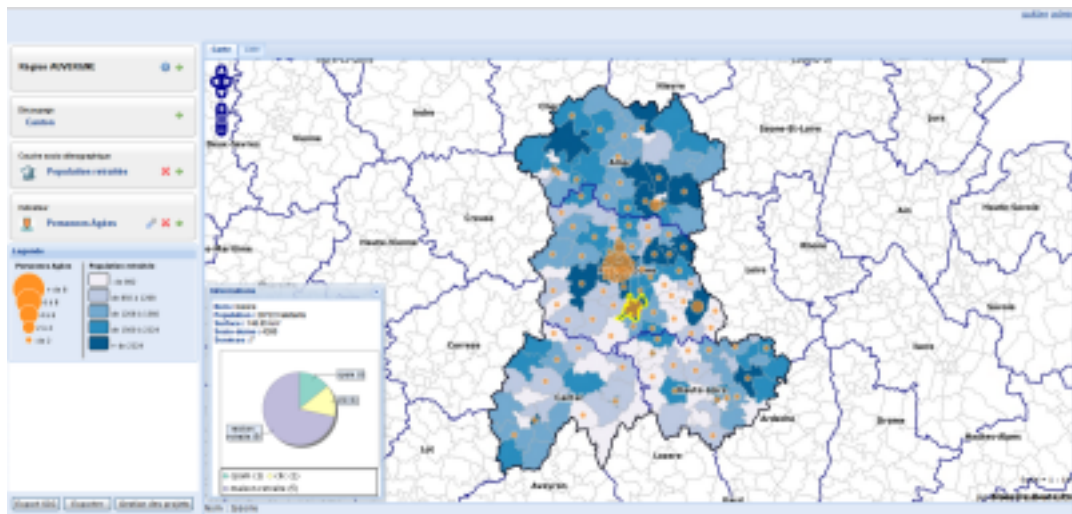
<sup>4</sup>JTS Topology Suite [en ligne] <http://www.vividsolutions.com/jts/jtshome.htm> (consulté le 15 mai 2009).

<sup>5</sup>GeoTools The Open Source Java GIS toolkit <http://geotools.codehaus.org> (consulté le 20 mai 2009).

<sup>6</sup>Inova open solutions [en ligne] <http://www.inovaos.it/> (consulté le 20 mai 2009).

Le module GeOLAP hérite d'un prototype développé en 2008 par CampToCamp<sup>7</sup>. Ce prototype peut se classer dans la catégorie du "SIG-dominant", les efforts ayant été volontairement ciblés sur les capacités cartographiques de la solution, mais l'utilisateur dispose de fonctions pour forer et remonter parmi une hiérarchie spatiale (une dimension région). Plusieurs mesures sont disponibles (des indicateurs socio-démographiques), elles sont représentées sur la carte par des symboles cliquables renvoyant sur un diagramme camembert (Figure 2.2) pour visualiser plus précisément les données numériques. Ce prototype constitue une base pour GeOLAP, il a permis d'identifier des besoins et de transférer une partie des technologies employées pour de plus ambitieux résultats. Ceux-ci nécessitent notamment la possibilité d'intégration d'objets géométriques à tous les niveaux de hiérarchies des dimensions de la base multidimensionnelle, et la capacité pour le serveur (S)OLAP de les récupérer et les renvoyer au client (d'où la collaboration avec GeoMondrian).

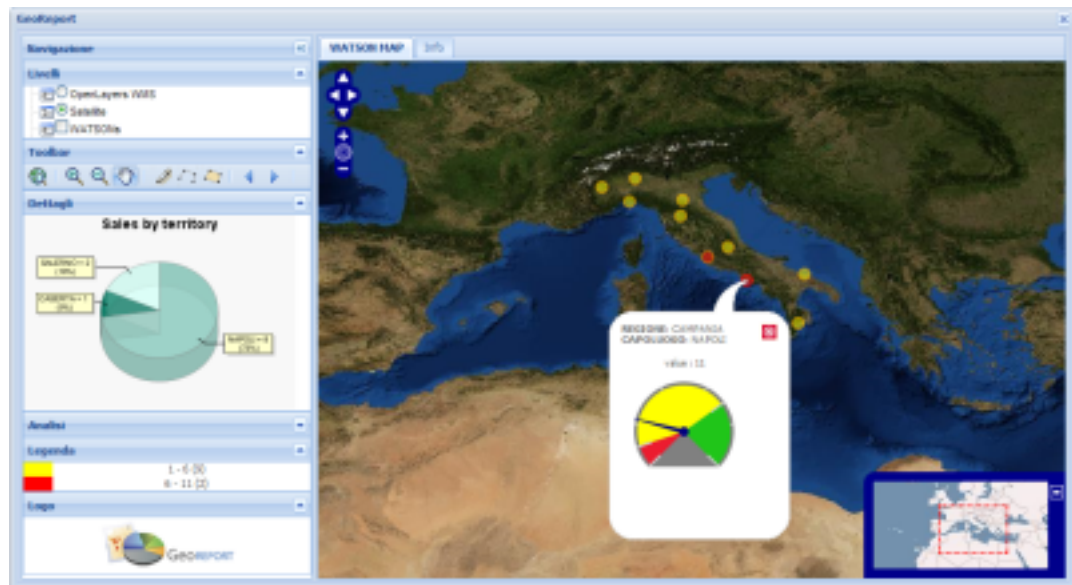
**Figure 2.2. Interface du prototype de CampToCamp**



L'utilisateur choisit une région et un indicateur. Les mesures sont représentées sur la carte par des symboles cliquables pour afficher des camemberts. Source : [20].

Quant au module **GeoReport**, il propose la génération de cartes thématiques choroplèthes ou valuées par des symboles de proportionnalité permettant l'affichage d'analyses alphanumériques provenant du monde décisionnel. Il permet d'afficher ensuite des diagrammes en camembert en cliquant directement sur des symboles représentés sur la carte. GeoReport et Spatialytics vont être prochainement (dans le cadre du *Google Summer of Code 2009*) intégrés dans une application unique.

<sup>7</sup>CampToCamp *Open Source basecamp* [en ligne] <http://www.camptocamp.com/> (consulté le 20 mai 2009).

**Figure 2.3. Interface GeoReport**

Carte satellite affichant des points de différentes couleurs suivant les ventes. Source : [20].

## 2.5. Quelques prototypes

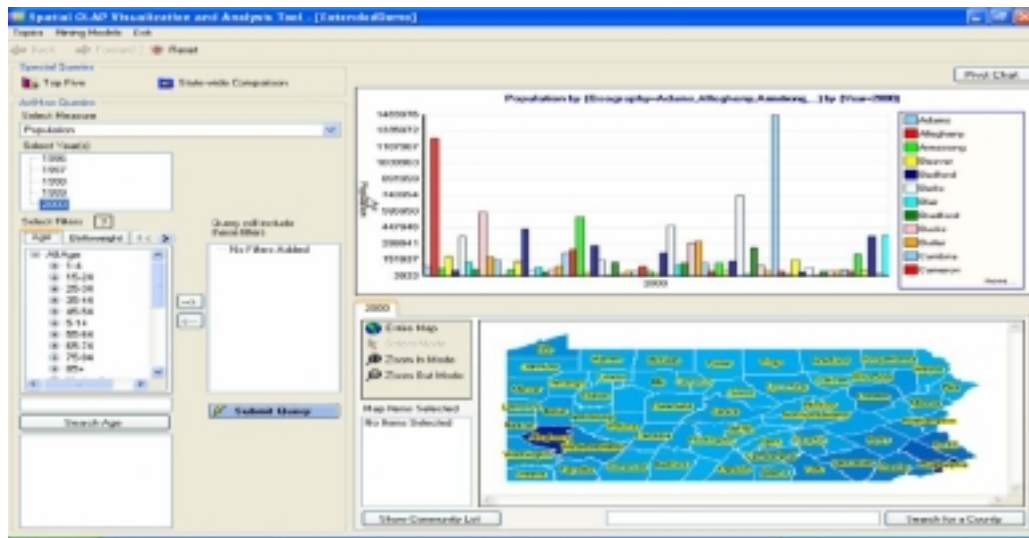
En dehors du fort flux d'informations SOLAP provenant de l'Université de Laval, quelques mises en oeuvre de solutions prototypes combinant SIG et OLAP sont l'objet de recherches. Par recoupement des références trouvées dans la littérature étudiée, cette section en présente deux : **SOVAT** (*Spatial OLAP Visualization and Analysis Tool*) et **GOLAPA** (*Geographic Online Analytic Processing Architecture*). SOVAT a été choisi pour la démarche itérative de développement orientée sur l'attente des utilisateurs finaux. GOLAPA a au contraire été choisi pour les aspects de modélisation sur lesquels la solution se concentre, en amont donc d'une solution vraiment déployable.

### 2.5.1. SOVAT

SOVAT est développé depuis 2005 à l'Université de Pittsburgh pour un projet décisionnel de santé publique. Le système est capable de manipuler de grandes quantités de données, d'exécuter des calculs statistiques et géospatiaux. Il supporte les opérateurs OLAP classiques (forage remontage) et permet l'affichage sous forme de diagrammes et de cartes (Figure 2.4). Côté technologie, SOVAT est basé sur Microsoft SQL Server 2000 et VB.NET [4].

SOVAT a fait l'objet d'évaluations itératives quant à ses capacités de répondre aux besoins et à sa facilité d'accès pour l'utilisateur final (professionnels et étudiants dans le domaine de la santé) [24]. Ces utilisateurs furent ainsi soumis à des questionnaires pour évaluer l'utilisabilité du produit : rapidité pour mener à bien une analyse, véracité des réponses obtenues, quantité de données erronées, satisfaction générale. Tenant compte des résultats successifs aux différentes versions du logiciel, l'équipe de développement a permis en cinq itérations de répondre très positivement aux besoins. Les utilisateurs semblent avoir été convaincus par les bénéfices de l'approche SOLAP. Cette démarche met donc en valeur d'une façon concrète les atouts de SOLAP comme outil décisionnel. Elle met cependant en évidence que le concept n'est peut-être pas si simple à appréhender pour l'utilisateur final non technicien. Si les étudiants interrogés furent rapidement satisfaits, l'approche "multidimensionnelle", moins connue que les principes des bases de données et du transactionnel, représente pour beaucoup un nouveau concept à appréhender, à comprendre, avant de pouvoir mener rapidement des analyses.

Figure 2.4. Interface SOVAT

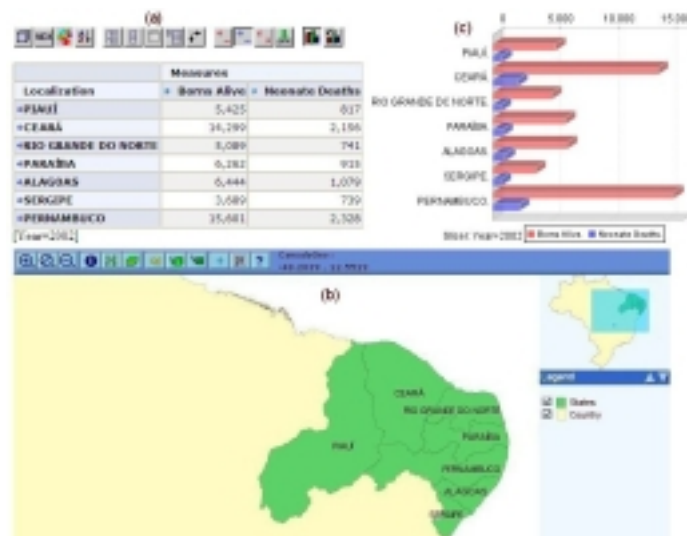


SOVAT propose sur son interface les outils OLAP dans le cadre du haut et les outils "SIG-OLAP" dans le cadre du bas. Source : bibEtudeSovat

## 2.5.2. GOLAPA

GOLAPA est développé par l'équipe de Joel da Silva à l'Université Fédérale de Pernambuco à Recife au Brésil. GOLAPA repose sur le développement d'une architecture ouverte et extensible pour le traitement géospatial et multidimensionnel des données, basée sur le serveur OLAP Mondrian [4]. La solution repose sur une architecture *Web Services*, les technologies Java et XML. Un objectif de GOLAPA consiste à proposer un langage de requête unique nommé GeoMDQL (*Geographical Multidimensional Query Language*) pour combiner des requêtes à la fois spatiale (WFS) et multidimensionnelle (XMLA). Le langage trouve son usage dans un environnement SOLAP. GOLAPA intègre ce modèle de requête au sein d'un service Web nommé GMLA WS (*Geographical Multidimensionnal Analysis Web Service*). La solution ne propose (en 2007) qu'un prototype (Figure 2.5) pour l'interface graphique utilisateur [25]. C'est donc dans les modèles proposés et l'interopérabilité que GOLAPA trouve tout son intérêt.

Figure 2.5. Interface GOLAPA



Prototype réalisé pour la visualisation des requêtes : tableau, diagramme, carte. Source : [25]

# Chapitre 3. Analyse comparative des outils, bilan sur la maturité de l'approche SOLAP

Ce chapitre propose une grille de critères choisis pour comparer les outils SOLAP présentés dans le chapitre précédent. Un bilan sur la maturité de l'approche SOLAP et des outils de rendus cartographiques associés est finalement avancé à partir de cette analyse comparative.

L'étude du LGS Group mettant en évidence trois familles (SIG-dominant, OLAP-dominant et solutions intégrées) permet déjà un premier filtre parmi l'offre se réclamant combiner le monde OLAP et le monde SIG [16]. L'étude réalisée par Yvan Bédard en 2007 [17] confirme cette tendance et permet d'écarter de cette analyse comparative les "SIG-dominant" ne disposant pas d'opérateur OLAP, les "OLAP-dominant" aux fonctions cartographiques limitées. La liste de critères proposée pour l'outil SOLAP idéal se révèle ambitieuse et ne peut ici s'appliquer qu'en partie, notamment car l'information récupérée sur les différents outils présentés ne permet pas d'y répondre. De plus, si les critères de l'outil SOLAP idéal se basaient sur l'approche théorique, l'étude d'Yvan Bédard propose une grille plus pragmatique, plus réaliste vis à vis des possibilités actuelles, en parfaite connaissance de l'état de la recherche. Les critères retenus pour cette comparaison tiennent donc compte de la disponibilité de l'information et ne considèrent qu'un sous-ensemble des fonctionnalités avancées pour l'outil idéal. Les critères cartographiques ont également été privilégiés. Ils sont détaillés dans le Tableau 3.1.

**Tableau 3.1. Critères retenus**

Critère	Description
Visualisation et exploration	
Représentation cartographique	Indique les possibilités : images satellite, cartes thématiques, combinaisons ; cartes avec diagrammes surimprimés, cartes choroplethes, ...
Tableaux et diagrammes	Indispensables pour l'analyse. Indique les différentes possibilités de diagrammes (horizontaux, verticaux, camemberts)
Opérateurs de forage	Sous-entend la prise en compte des dimensions spatiales. Indique les différents opérateurs supportés.
Opérateur de pivot	Classique pour OLAP, mais pour le Spatial OLAP ? Possibilités depuis la carte ?
Support des données	
Bases de données spatiales	PostGIS, Oracle Spatial, MySQL, Ingres, ...
Compatibilité	Indique les supports des fichiers SIG (vectoriels, matriciels) et services Web (OGC, GoogleMap)

Les outils du chapitre précédent sont maintenant comparés à partir de la grille du Tableau 3.1. Les solutions Open Source proposées par GeoSOA et GeoBI ont été agrégées. L'impossibilité de renseigner le critère est indiquée sous forme de question.



**Tableau 3.2. Comparaison des outils présentés**

Critère	JMap Spatial OLAP	SAS Web OLAP 4 Java	Geo-SOA-GeoBI	SOVAT	GOLAPA
Représentation cartographique	A priori tous types de cartes	A priori tous types de cartes	A priori tous types de cartes	Types ? capacités pour les diagrammes sur-imprimés.	Images vectorielles seulement ?
Tableaux et diagrammes	Tous types	A priori tous types	En cours à partir de Geo-Report	Tableaux : oui. Diagrammes : verticaux seulement ?	Tableaux : oui. Diagrammes : horizontaux seulement ?
Forage spatial	Forage, remontage, latéral	Forage, remontage. Latéral ?	En cours à partir de Geo-LAP	Tous + <i>drill-out</i> : forage sur les régions voisines	Oui
Pivot	Oui	?	Non ?	Oui	Non
Bases de données spatiales	Oracle Spatial	Microsoft SQL Server Express	Nativement : PostGIS, Oracle Spatial et MySQL, à partir de Geo-Mondrian	Microsoft SQL Server	?
Compatibilité	<i>Shapefiles</i> , MIF/MID, DWG, DGN, DXF, TIFF, GeoTIFF, SVG, OGC WMS	<i>Shapefiles</i> , export en "divers formats" dont <i>GML</i>	<i>Shapefiles</i> en lecture, écriture en cours ; MIF/MID en cours ; OGC WMS ; GoogleMaps	?	?

Cette analyse comparative met particulièrement en évidence la maturité de la solution JMap Spatial OLAP. La longueur d'avance de cette solution était prévisible puisqu'elle est fut engendrée par le créateur même du concept SOLAP, Yvan Bédard. L'offre Open Source actuelle est très prometteuse mais est actuellement en pleine gestation. On ne peut donc la déclarer mature aujourd'hui, mais elle risque de provoquer à très court terme une révolution technologique (octobre 2009 ?), notamment grâce à ses capacités de compatibilité et à l'intégration native des dimensions spatiales dans l'hypercube (vu par GeoMondrian). Entre autres axes de recherches pour l'amélioration des performances et possibilités du SOLAP, plusieurs travaux s'orientent actuellement vers de meilleures modélisations du paradigme multidimensionnel, en tenant compte des dimensions spatiales et en proposant de nouveaux modèles pour interroger les données (GOLAPA). Sandro Bimonte propose par exemple dans sa thèse (2007) d'améliorer le concept SOLAP en intégrant à l'hypercube non seulement la composante spatiale, mais également la composante thématique de l'information géographique [26]. Sa proposition de modèle (GeoCube) et de prototype de visualisation (GeWOlap) ouvre de nouvelles possibilités d'analyses : « *de l'OLAP Spatial à l'OLAP Géographique* ».

En conclusion, bien que les outils cartographiques et les outils OLAP soient matures séparément, peu de solutions SOLAP le sont aujourd'hui (majorité de SIG-dominants et d'OLAP-dominants). Les grands producteurs du monde décisionnel et du monde des SIG travaillent en ce sens, et l'offre Open Source dépend de la communauté investie, mais devrait provoquer très bientôt un prodigieux bond en avant. Les SIG Open Source ont contribué il y a quelques années à une explosion de solutions cartographiques sur Internet, l'Open Source SOLAP pourrait de la même façon et dans un avenir proche contribuer à une amélioration notable des capacités cartographiques et analytiques combinées.

# Chapitre 4. Conclusion

L'approche théorique du Spatial OLAP a été présentée en introduisant tout d'abord la définition donnée par son créateur, Yvan Bédard. Les deux composantes sur lesquelles SOLAP repose ont été ensuite successivement abordées : les systèmes d'information géographique et les systèmes d'aide à la décision OLAP. La description des principes et fonctions essentielles de ces deux domaines a permis d'en mesurer certaines limites respectives. L'avantage de combiner au sein d'une même plateforme à la fois des outils cartographiques et des outils analytiques a donc été évoqué pour exposer la valeur ajoutée de l'approche SOLAP dans un processus décisionnel. L'utilisateur final, décideur, politique, analyste, dispose ainsi d'une nouvelle famille d'outils pour l'aider dans sa recherche de nouvelles connaissances et la prise de décisions.

Les fonctionnalités attendues d'un outil SOLAP idéal ont alors été déduites de cette approche théorique. Quelques mises en oeuvre actuelles de technologies et solutions associées au SOLAP ont été présentées. En considérant la littérature sur le domaine, des regroupements ont pu être menés pour classifier l'offre actuelle et choisir parmi celle-ci des solutions représentatives de l'état de l'art en géodécisionnel. L'analyse comparative des solutions choisies voulait mesurer la maturité de l'approche SOLAP et des outils de rendus cartographiques associées. Le bilan de cette analyse révèle les points suivants :

- tout d'abord, peu de documents offrent un recul objectif sur l'approche SOLAP ;
- les solutions SOLAP identifiées comme pleinement intégrées ne sont qu'au nombre de deux (JMap Spatial OLAP et SAS Web Olap for Java) ;
- l'offre Open Source et les travaux de recherches laissent présager néanmoins pour bientôt la disponibilité de solutions SOLAP efficaces.

La combinaison SOLAP actuelle ne peut donc encore être réellement considérée comme mature, en comparaison des outils SIG ou OLAP traditionnels. Il faut cependant noter que cette approche est récente, et qu'un nombre grandissant d'entreprises majeures, aussi bien issues du monde décisionnel que du monde SIG, investissent dans ce couplage. Les enjeux sont énormes puisqu'ils donnent un nouveau souffle aussi bien aux outils cartographiques qu'aux outils décisionnels. L'étendue des applications est considérable et concerne de nombreux secteurs clés au XXI<sup>e</sup> siècle : environnement, santé, gestion du territoire, pour ne citer qu'eux. Reste tout de même à sensibiliser l'utilisateur final à cette nouvelle famille d'outils.

Enfin, anticipons légèrement sur cet avenir proche où le géodécisionnel SOLAP aura envahi notre quotidien, tout comme la cartographie en ligne a envahi Internet il y a quelques années, et proposons d'ores et déjà quelques défis technologiques supplémentaires : le SOLAP nomade, l'intégration de la 3D, le SOLAP temps réel.

# Glossaire

Cartographie	Ensemble des techniques et des arts graphiques ayant pour objet la conception, la préparation, la rédaction et la réalisation de tous les types de plans ou de cartes [2].
ETL (Extract Transform Load)	Traduction française : Extraction Transformation Chargement. Outil de l'informatique décisionnelle pour l'intégration et la mise à jour de données depuis des sources hétérogènes vers un entrepôt de données.
Géodésie	Science qui représente et mesure la surface terrestre, en incluant la détermination du champ de pesanteur et du fond océanique (Wikipédia).
Géomatique	Discipline ayant pour objet la gestion des données géographiques et qui fait appel aux sciences et aux technologies reliées à leur acquisition, leur stockage, leur traitement et leur diffusion [2].
GML ( <i>Geography Markup Language</i> )	Langage dérivé du XML pour encoder, manipuler et échanger des données géographiques. Standard développé par l'Open Geospatial Consortium. Voir aussi XML.
HOLAP ( <i>Hybrid On-Line Analytical Processing</i> )	Implantation particulière d'une architecture OLAP à la fois dans des bases de données multidimensionnelles et relationnelles : "hybride" entre ROLAP et MOLAP. Voir aussi MOLAP, ROLAP, MOLAP.
HTML ( <i>Hypertext Markup Language</i> )	Format de données conçu pour représenter des pages Web.
OLAP ( <i>On-Line Analytical Processing</i> )	Catégorie d'applications et de technologies permettant de collecter, stocker, traiter et restituer des données multidimensionnelles, à des fins d'analyse. Une autre définition est résumée dans l'acronyme FASMI ( <i>Fast Analysis of Shared Multidimensional Information</i> ), en français "analyse rapide d'information multidimensionnelle partagée" [8].
OLTP ( <i>On-Line Transaction Processing</i> )	Traduction française : systèmes transactionnels. Systèmes insistant sur le stockage, l'accès, la mise à jour des données très détaillées et leur intégrité, ils reposent généralement sur des systèmes de gestion de bases de données suivant une structure relationnelle normalisée.
MOLAP ( <i>Multidimensional On-Line Analytical Processing</i> )	Technologie de stockage cartésien d'une vue multidimensionnelle, s'oppose au ROLAP. Voir aussi OLAP.
ROLAP ( <i>Relational On-Line Analytical Processing</i> )	Technique d'analyse multidimensionnelle à partir de données stockées dans des bases relationnelles. Voir aussi OLAP.
Photogrammétrie	Technique consistant à effectuer des mesures dans une scène en utilisant la parallaxe obtenue entre des images acquises selon des points de vue différents.
SIG (Système d'Information Géographique)	Système d'information portant sur des données géographiques [2], capable d'assembler, stocker, manipuler et afficher l'information à référence spatiale.
SOLAP ( <i>Spatial On-Line Analytical Processing</i> )	Plate-forme visuelle supportant l'exploration et l'analyse spatio-temporelle faciles et rapides des données selon une approche multidimensionnelle à plusieurs niveaux d'agrégation via un affichage cartographique, tabulaire ou en diagramme statistique (Yvan Bédard). Voir aussi OLAP.

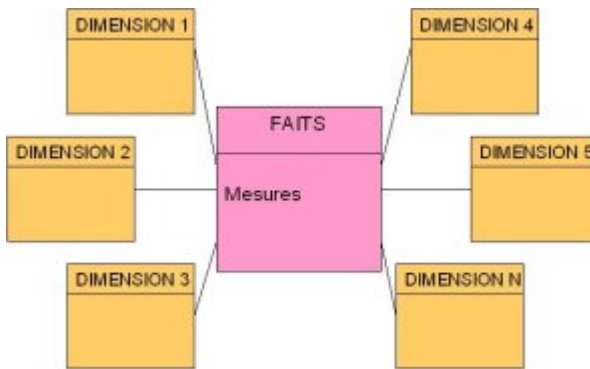
## Glossaire

SQL ( <i>Structured Query Language</i> )	Traduction française : langage structuré de requêtes. Langage de requête standard et normalisé destiné à interroger ou à manipuler des bases de données relationnelles.
SVG ( <i>Scalable Vector Graphics</i> )	Format de données, spécifié par le <i>World Wide Web Consortium</i> , conçu pour décrire des ensembles de graphiques vectoriels.
TCP/IP ( <i>Transmission Control Protocol/Internet Protocol</i> )	Suite de protocoles, le nom provenant des deux protocoles majeurs TCP et IP. Ensemble de règles de communication sur Internet se basant sur la notion d'adressage IP (fractionnement des messages en paquet, utilisation d'un système d'adresses, routage des données, contrôle des erreurs de transmission).
Téledétection	Acquisition d'informations sur un objet par l'intermédiaire d'un instrument de mesure n'ayant pas de contact avec l'objet étudié (Wikipédia).
Web Mapping	Traduction française : cartographie en ligne. Ensemble des techniques permettant de produire concevoir traiter et publier des cartes sur un réseau Internet, extranet, intranet.
WFS ( <i>Web Feature Service</i> )	Service dans lequel un serveur permet à un client de réaliser des manipulations sur des objets géographiques : création, suppression, mise à jour ou demande d'informations.
WMS ( <i>Web Map Service</i> )	Service permettant à un client (navigateur standard mais plus généralement via un logiciel interactif) de produire des cartes interactives à partir de différents serveurs cartographiques. Ces serveurs sont capables de retourner des images (matricielles et vectorielles) à partir d'une requête dont les opérations demandées sont soumises directement dans une URL ( <i>Uniform Resource Locator</i> ).
XML ( <i>Extensible Markup Language</i> )	Langage de balisage générique dont la syntaxe est une recommandation du <i>World Wide Web Consortium</i> pour exprimer des langages de balisages spécifiques. Il sert essentiellement à stocker et à transférer des données de type texte structurées en champs arborescents.

# Annexe A. Structure des bases ROLAP

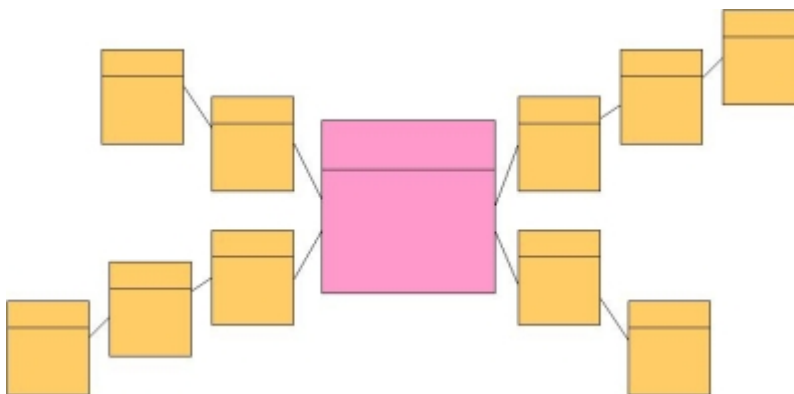
Un système OLAP peut implémenter le stockage des données dans une base de données relationnelle, d'où le terme ROLAP (*Relational OLAP*). La structure correspond alors à un des quatre modèles représentés ci-dessous : structure en étoile (Figure A.1), en flocon (Figure A.2), mixte (Figure A.3) ou en constellation (Figure A.4).

**Figure A.1. ROLAP : structure en étoile**



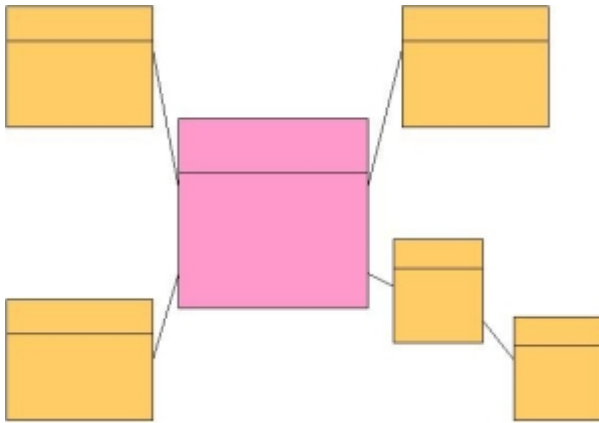
Un objet central : la table des faits. Les tables de dimensions contiennent les attributs définissant chacun des membres des dimensions. Source : [13].

**Figure A.2. ROLAP : structure en flocon**



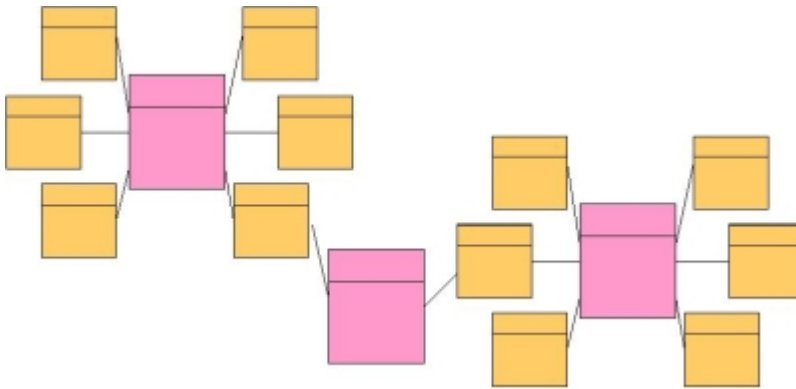
Chacune des dimensions est décomposée suivant sa hiérarchie. Source : [13].

**Figure A.3. ROLAP : structure mixte**



Combinaison de la structure en étoile et de la structure en flocon. Source : [13].

**Figure A.4. ROLAP : structure en constellation**



Plusieurs schémas en étoile partagent des tables de dimensions. Source : [13].

# Annexe B. Sélection de liens utiles

Cette annexe propose une sélection subjective de quelques liens qui ne sont pas référencés dans la Bibliographie mais qui se sont avérés utiles à l'élaboration de ce rapport.




Démonstrations en ligne :

- **SAS Web OLAP Viewer** [[http://www.sas.com/technologies/bi/touext/webnet/tour\\_fs.html](http://www.sas.com/technologies/bi/touext/webnet/tour_fs.html)] (consulté le 26 mai 2009).
- **JMap** [[http://www.kheops-tech.com/fr/jmap/jmap\\_demos.jsp](http://www.kheops-tech.com/fr/jmap/jmap_demos.jsp)] (consulté le 26 mai 2009).
- **GeoKettle** [[http://geosoa.scg.ulaval.ca/~badard/geokettle\\_demo/geokettle.html](http://geosoa.scg.ulaval.ca/~badard/geokettle_demo/geokettle.html)] en action : intégration de données depuis d'un fichier SIG *Shapefile* vers une table d'une base PostGIS (consulté le 26 mai 2009).
- **GeoMondrian** [[http://geosoa.scg.ulaval.ca/~badard/geomondrian\\_demo/reader.html](http://geosoa.scg.ulaval.ca/~badard/geomondrian_demo/reader.html)] (version alpha) en action à travers un outil d'analyse de type tableau de bord spatial (consulté le 26 mai 2009).

Téléchargements :

- **GeoKettle** : *Site Personnel du Dr. Thierry Badard* [en ligne] [http://geosoa.scg.ulaval.ca/en/index.php?module=pagemaster&PAGE\\_user\\_op=view\\_page&PAGE\\_id=7&MMN\\_position=6:6](http://geosoa.scg.ulaval.ca/en/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=7&MMN_position=6:6) (consulté le 26 mai 2009).

Pour suivre l'actualité SOLAP et géodécisionnelle en ligne :

-  Publications sur le site personnel du professeur Yvan Bédard PhD [[http://sirs.scg.ulaval.ca/yvanbedard/result\\_pub.asp?wtype=0&wstatut=publi%E9&wannee1=1984&wannee2=2009](http://sirs.scg.ulaval.ca/yvanbedard/result_pub.asp?wtype=0&wstatut=publi%E9&wannee1=1984&wannee2=2009)] (consulté le 26 mai 2009).
-  Site personnel du Dr. Thierry Badard [<http://geosoa.scg.ulaval.ca/fr/index.php>] (consulté le 26 mai 2009)
-  Open Source project [<http://www.geobi.org/>] (consulté le 26 mai 2009)
- Décigéo le blog du Systeme d'Information Géographique et Business Intelligence [<http://decigeo.over-blog.com/>] (consulté le 26 mai 2009).
- Baliz-media.com Observation de l'industrie du géospatial [<http://media.baliz-geospatial.com/>] (consulté le 26 mai 2009).
- The Data Warehousing Institute™ pour une liste complète des produits OLAP disponibles sur le marché [<http://www.tdwi.org/MarketPlace/subcat.aspx?catId=79>] (consulté le 26 mai 2009)

# Bibliographie

- [1] Jean Denègre et François Salgé. 1996. *Que Sais-Je ? Les Systèmes d'Information Géographique*. Paris : Presse Universitaire de France. 127 pages.
- [2] Office Québécois de la langue française. 2009. *Cap sur la géomatique*. [en ligne]. [http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/terminologie\\_geomatique/lex\\_geomatique.html](http://www.oqlf.gouv.qc.ca/ressources/bibliotheque/dictionnaires/terminologie_geomatique/lex_geomatique.html) (consulté le 10 avril 2009).
- [3] Colette Cauvin, Francisco Escobar, et Aziz Serradj. 2007. *Cartographie thématique, une nouvelle démarche*. Traité IGAT - Information Géographique et Aménagement du Territoire. Paris : Hermès Science Lavoisier. pp. 1-89 tome 1.
- [4] Marie-Josée Proulx, Eveline Bernier, et Yvan Bédard. Novembre 2007. *Revue Systématique en Santé Environnementale*. Comment les nouvelles technologies de la géomatique décisionnelle peuvent aider les professionnels et décideurs en santé environnementale à exploiter davantage la cartographie que ce qu'offrent traditionnellement les SIG et la cartographie sur le Web. *The Nationale Collaborating Centre For Environmental Health (NCCEH)*. [en ligne]. [http://www.ncceh.ca/files/Technologies\\_de\\_la\\_geomatique\\_nov\\_2007.pdf](http://www.ncceh.ca/files/Technologies_de_la_geomatique_nov_2007.pdf) (consulté le 12 mai 2009).
- [5] guidescomparatifs.com. *Business Intelligence, Décisionnel, Olap*. [en ligne]. <http://www.guidescomparatifs.com/business-intelligence-olap-decisionnel.asp> (consulté le 30 avril 2009).
- [6] Alain Fernandez. *La Business Intelligence, l'Informatique Décisionnelle*. [en ligne]. <http://www.piloter.org/business-intelligence/business-intelligence.htm> (consulté le 30 avril 2009).
- [7] Julyan Hyde. *Julian Hyde on Open Source OLAP. And Stuff*. [en ligne]. <http://julianhyde.blogspot.com/> (consulté le 30 avril 2009).
- [8] Bernard Lupin. *Osez Olap, Les bases de données OLAP par l'exemple*. [en ligne]. <http://pagesperso-orange.fr/bernard.lupin/index.htm> (consulté le 21 avril 2009).
- [9] Nigel Psende. *The OLAP Report*. [en ligne]. <http://www.olapreport.com/fasmi.htm> (consulté le 1er mai 2009).
- [10] C. Franklin. 1992. *An Introduction to Geographic Information Systems: Linking Maps to Databases*. Database, April. pp. 13-21.
- [11] Jean-Louis Duchesne. 15 avril 2009. *Le géospatial au 4e salon du Business Intelligence*. [en ligne]. [http://francais.directionsmag.com/articles.php?article\\_id=3122](http://francais.directionsmag.com/articles.php?article_id=3122) (consulté le 20 avril 2009). Directions Magazine français.
- [12] Audrey Poissonier. 2008. *La nouvelle technologie SOLAP dans l'aide à la prise de décision et le développement territorial*. Rapport fin d'étude Master 2. Grenoble : Institut de Géographie Alpine.
- [13] Yvan Bédard. *Olap et Solap : notions avancées des bases de données SIG*. [en ligne]. <http://www.scribd.com/doc/6964842/OLAP-et-SOLAP-complet-avec-explication-ppt-univ-laval> (consulté le 30 avril 2009).
- [14] Sonia Rivest, Yvan Bédard, Marie-Josée Proulx, Martin Nadeau, Frederic Hubert, Julien Pastor. 2005. *SOLAP: Merging Business Intelligence with Geospatial Technology for Interactive Spatio-Temporal Exploration and Analysis of Data*. Journal of International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS). [en ligne]. [http://sirs.scg.ulaval.ca/Yvanbedard/article\\_nonprotege/400.pdf](http://sirs.scg.ulaval.ca/Yvanbedard/article_nonprotege/400.pdf) (consulté le 30 avril 2009).
- [15] Yvan Bédard, Eveline Bernier, Suzie Larrivée, Martin Nadeau, Marie-Josée Proulx, et Sonia Rivest. *Spatial OLAP*. [en ligne]. <http://www.spatialbi.com/> (consulté le 21 avril 2009).
- [16] LGS Group. 2000. *Analysis of Health Surveillance Business Intelligence Tools and Applications : Analysis Methodology and Criteria*. Project report. 19 pages.



## Bibliographie

- [17] Marie-Josée Proulx, Sonia Rivest, et Yvan Bédard. novembre 2007. *Evaluation des produits commerciaux offrant des capacités combinées d'analyse multidimensionnelle et de cartographie.*. Rapport de recherche pour Chaire de recherche en base de données géospatiales décisionnelles. Sommaire de la publication. [en ligne]. <http://sirs.scg.ulaval.ca/yvanbedard/resume.asp?resumeID=491> (consulté le 20 avril 2009).
- [18] Etienne Dubé, Thierry Badard, Yvan Bédard. 2007. *Building Geospatial Business Intelligence Solutions with Free and Open Source Components*. FOSS4G 2007. [en ligne]. [http://www.foss4g2007.org/presentations/viewattachment.php?attachment\\_id=105](http://www.foss4g2007.org/presentations/viewattachment.php?attachment_id=105) (consulté le 30 avril 2009).
- [19] Thierry Badard. 26 janvier 2009. *GeoKettle*. [en ligne]. [http://geosoa.scg.ulaval.ca/en/index.php?module=pagemaster&PAGE\\_user\\_op=view\\_page&PAGE\\_id=17](http://geosoa.scg.ulaval.ca/en/index.php?module=pagemaster&PAGE_user_op=view_page&PAGE_id=17) (consulté le 20 mai 2009).
- [20] Fabio D'Ovidio. 2009. *GeoBI Open Source project*. News, contributions and support about the project!. [en ligne]. <http://www.geobi.org/> (consulté le 20 mai 2009).
- [21] Kheops Technologies. 2005. *JMap Spatial OLAP*. Innovative technology to support intuitive and interactive exploration and analysis of spatio-temporal multidimensional data. [en ligne]. [http://www.kheops-tech.com/fr/jmap/doc/WP\\_JMap\\_SOLAP.pdf](http://www.kheops-tech.com/fr/jmap/doc/WP_JMap_SOLAP.pdf) (consulté le 20 mai 2009).
- [22] Nicolas Borgeaud. 2007. *Utilisation d'un logiciel SOLAP en vue d'un screening des grands propriétaires fonciers en Suisse*. Travail de Master. [en ligne]. <http://lasig.epfl.ch/recherche/rapports/nb2007.pdf> (consulté le 21 avril 2009). LaSIG : Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- [23] SAS. 2005. *SAS Web Olap Viewer for Java*. Web-based data exploration and analysis for business users. [en ligne]. [http://www.sas.com/technologies/bi/query\\_reporting/webolapviewer/factsheet.pdf](http://www.sas.com/technologies/bi/query_reporting/webolapviewer/factsheet.pdf) (consulté le 20 mai 2009).
- [24] Matthew Scotch, Bambang Parmanto, et Valerie Monaco. Février 2007. *Usability Evaluation of the Spatial OLAP Visualization and Analysis Tool (SOVAT)*. [en ligne]. [http://www.usabilityprofessionals.org/upa\\_publications/jus/2007\\_february/scotch\\_parmanto\\_monaco\\_usability\\_evaluation.pdf](http://www.usabilityprofessionals.org/upa_publications/jus/2007_february/scotch_parmanto_monaco_usability_evaluation.pdf) (consulté le 24 mai 2009).
- [25] Joel Da Silva, Ausberto S. Castro Vera, Anjolina G. de Oliveira, Robson do N. Fidalgo, Ana C. Salgado, et Valeria Cesario Times. 2007. *Querying Geographical Data Warehouses with GeoMDQL*. [en ligne]. <http://www.lbd.dcc.ufmg.br:8080/colecoes/sbbd/2007/SBBD15.pdf> (consulté le 24 mai 2009).
- [26] Sandro Bimonte. 2007. *Intégration de l'information géographique dans les entrepôts de données et l'analyse en ligne : de la modélisation à la visualisation*. Thèse en informatique. . Institut National des Sciences Appliquées de Lyon. Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information. [en ligne]. <http://eric.univ-lyon2.fr/~sbimonte/doc/TheseSandroBimonte.pdf> (consulté le 24 mai 2009).

# Achevé d'imprimer

Ce document a été généré le 2009-05-27 13:00:35 (année-mois-jour heure:minutes:secondes).

Il s'inscrit dans le cadre de l'épreuve TEST (Travail d'Etude et de Synthèse Technique) en informatique de l'Unité d'Enseignement ENG111 du cycle ingénieur CNAM (Conservatoire National des Arts et Métiers), présentée lors de la session de juin 2009.

S'appuyant sur la technologie DocBook<sup>1</sup>, les sources de ce document ont été écrites au format XML en suivant la DTD DocBook 4.5CR3 et transformées en versions HTML et PDF à l'aide des feuilles de style DocBook XSLT 1.73.2.

La génération des documents a été automatisée à l'aide de ant<sup>2</sup>, java<sup>3</sup>, les processeurs Xalan<sup>4</sup> et FOP<sup>5</sup>.

⊗ Les feuilles de style XSLT standards ont été personnalisées pour répondre aux besoins suivants :

- "Table des matières" remplacé par "Sommaire" ;
- "Dedication" remplacé par un espace vide pour la page hors numérotation "Remerciements" ;
- taille des icônes d'admonition modifiée de 30 à 12 pt pour une meilleure résolution au format pdf.

Les images ont été retouchées à l'aide du logiciel The Gimp<sup>6</sup>.

La couverture finale du rapport imprimé diffère légèrement de la version électronique et a été réalisée à l'aide d'Open Office<sup>7</sup>. Elle suit le modèle imposé et proposé en téléchargement<sup>8</sup> depuis le site Web de l'AI CNAM-PST (Association des Ingénieurs du CNAM de Grenoble et de la Promotion Supérieure du Travail).

Pour toute question suggestion ou commentaire, merci de contacter par courriel <blerubrus@free.fr>.

---

<sup>1</sup>[en ligne] *DocBook.org* [<http://www.docbook.org>] (consulté le 2 avril 2009)

<sup>2</sup>[en ligne] *Apache Ant - Welcome*. Version 1.7.0. [<http://ant.apache.org>] (consulté le 2 avril 2009)

<sup>3</sup>[en ligne] *Developer Resources For Java Technology* [<http://java.sun.com>] (consulté le 2 avril 2009). Version 1.6.0\_03-b05.

<sup>4</sup>[en ligne] *Xalan-Java Version 2.7.1* [<http://xml.apache.org/xalan-j/>] (consulté le 2 avril 2009). Version 2.7.1.

<sup>5</sup>[en ligne] *Apache FOP* [<http://xmlgraphics.apache.org/fop/download.html>] (consulté le 2 avril 2009). Version 0.94.

<sup>6</sup>[en ligne] *GIMP - The GNU Image Manipulation Program* [<http://www.gimp.org/>] (consulté le 2 avril 2009).

<sup>7</sup>[en ligne] *fr: OpenOffice.org* [<http://fr.openoffice.org/>] (consulté le 2 avril 2009).

<sup>8</sup>[en ligne] *Couvertures\_Grenoble\_TEST\_2009.doc* [[http://www.aipst.org/component/option,com\\_docman/task,doc\\_download/gid,213/Itemid,92/](http://www.aipst.org/component/option,com_docman/task,doc_download/gid,213/Itemid,92/)] (consulté le 26 mai 2009)