

CONCEPTION ET CONSTRUCTION D'INFRASTRUCTURES D'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE POUR SERVIR CELLE-CI

Thérèse LIBOUREL, André MIRALLES

Résumé

Sont relatées, dans ce texte, des années de collaboration entre les équipes de géomaticiens des universités de Liège et de Montpellier. Ces années ont été marquées par la compétence, la curiosité et la créativité de Jean-Paul Donnay.

Mots-clés

géomatique, collaboration universitaire (Montpellier et Liège)

Abstract

In this paper, there are years of collaboration between the geomaticians teams of the universities of Liège and of Montpellier. These years were marked by the competence, curiosity and creativity of Jean-Paul Donnay.

Keywords

geomatics, university collaborations (Montpellier and Liège)

INTRODUCTION

Le point de départ de la collaboration entre partenaires côté montpellierain fut la création du Groupe de Recherche (GDR) du CNRS¹ SIGMA (Systèmes d'Information Géographique, Méthodologies et Applications) en 2001. Le GDR proposait des recherches portées selon six axes (Figure 1 extraite du document déposé pour la demande de création de celui-ci).

L'axe Qualité, sous la responsabilité de Thérèse Libourel et Serge Motet, avait pour objectif de faciliter les échanges entre chercheurs autour des problèmes liés à l'investissement nécessaire pour sauvegarder/stocker l'information géographique et la diffuser le plus largement possible. Cet axe fédérait donc les réflexions menées autour des notions d'infrastructure et de genericité de l'information géographique et regroupait une quarantaine de

participants et de laboratoires du CNRS, de l'IGN², de l'ENGREF³, du CEMAGREF⁴, du CIRAD⁵, de l'IRD⁶ et de diverses universités métropolitaines, ainsi que celle de Nouvelle-Calédonie. Les échanges, y compris ceux initiés entre partenaires internationaux (Belgique, Canada, USA), avaient lieu sous forme de séminaires organisés sur des pôles locaux notamment à Montpellier et lors des réunions de regroupement comme celles se déroulant à l'occasion des journées nationales dites Cassini.

Les journées scientifiques Cassini 2001 (organisées du 26 au 28 septembre à Montpellier sous l'égide du GDR SIGMA) ont notamment été un creuset important. Les interactions entre chercheurs autour des réflexions qui portaient sur le « sens de l'information géographique » (Cheylan et Chrisman, 2001) et comment « servir » celle-ci ainsi que celles menées sur des propositions relatives à la structura-

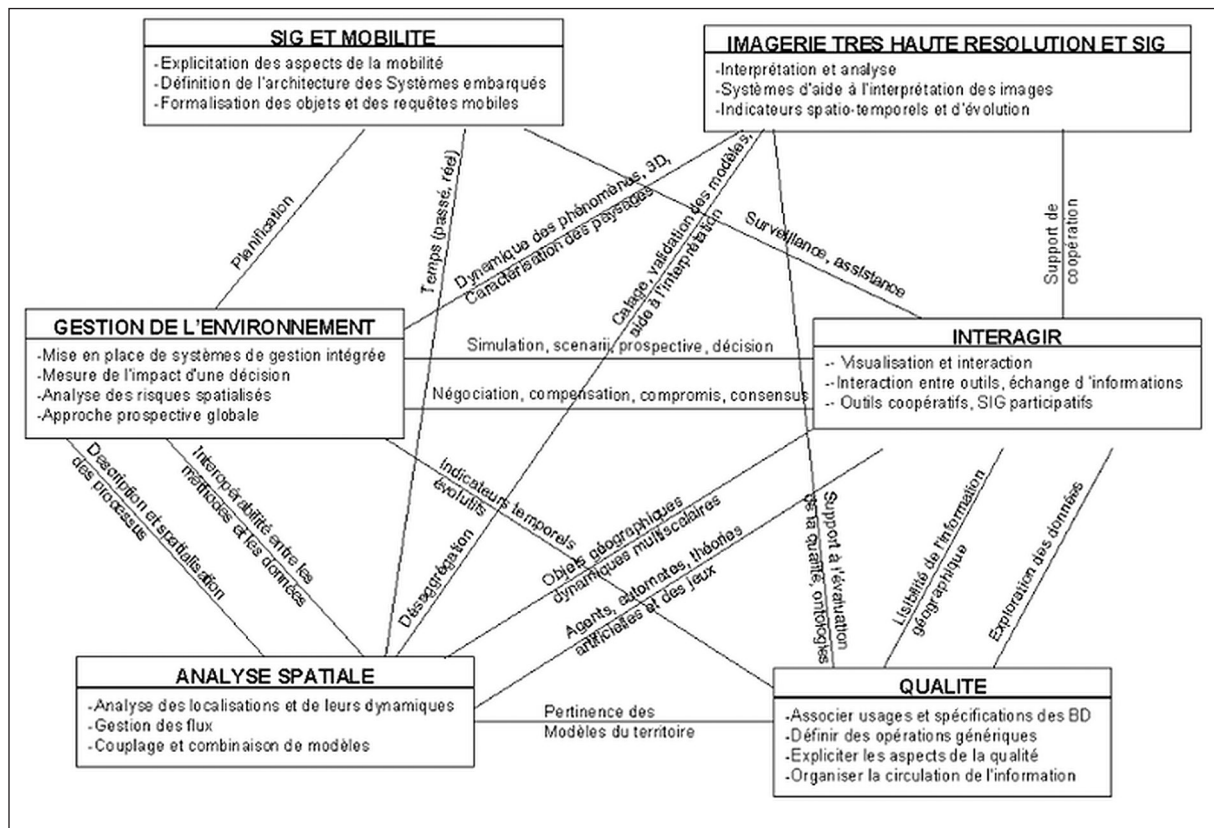


Figure 1. Les axes de réflexion du GDR SIGMA (figure extraite du document déposé pour la demande de création du GDR SIGMA)

tion des métadonnées en géosciences (Desconnets *et al.*, 2001). Ces réflexions vont rapidement se concrétiser par la création du programme GTEM (Géomatique, Espace, Territoire et Mobilité) inscrit dans le programme interdisciplinaire du CNRS « Société de l'Information ».

I. LE PROGRAMME GTEM, « CONSTRUCTION ET USAGES D'INFRASTRUCTURES LIÉES À L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE OU COMMENT "SERVIR" L'INFORMATION GÉOGRAPHIQUE », LES DÉBUTS D'UNE COLLABORATION FRUCTUEUSE

Le groupe impliqué dans ce programme est constitué de partenaires nationaux issus de disciplines variées et qui sont :

- le CIRAD : Départements TERA et EMVT⁷ (Montpellier) ;
- le Cemagref : UMR 3S (Montpellier) ;
- le TSCF⁸ (Clermont-Ferrand) ;
- le CNRS : UMR LIRMM⁹ (Montpellier) ;
- l'UMR Espace (Montpellier) ;
- l'IRD : projet Roselt/OSS¹⁰ (Montpellier) ;
- l'IGN : Laboratoire COGIT¹¹ (St Mandé) ;

- l'École Navale : Laboratoire IRENav¹² (Brest) ;
- l'Université de Nouvelle-Calédonie.

Ce groupe va bénéficier de relations internationales dont le laboratoire SURFACES (Service Universitaire de Recherches Fondamentales et Appliquées en Cartographie et en Études Spatiales) dirigé par Jean-Paul Donnay, Université de Liège.

Le projet s'est organisé autour de la formalisation des représentations des territoires pour répondre aux objectifs suivants :

- associer les utilisations, les spécifications et les traitements ;
- organiser la circulation de l'information, c'est-à-dire définir une méthodologie de partage et de diffusion de cette information.

L'ensemble de ces réflexions et travaux a été mené par l'intermédiaire de réunions de travail régulières et de deux séminaires organisés à Montpellier les 5-6 février 2004 et 15-16 décembre 2004. Lors de ces rencontres, les discussions ont été ouvertes et enrichies par la participation de nos partenaires internationaux et extérieurs (André Schaff, Observatoire de Strasbourg ; Jean-Paul Donnay, Laboratoire

SURFACES de l'Université de Liège ; Nicolas Chrisman, Université de Washington).

Jean-Paul a présenté, notamment, lors du séminaire de décembre les travaux effectués autour d'un « Projet d'infrastructure nationale-régionale de données géographiques - Étude de cas en Belgique ».

Au-delà de ce programme, les points abordés ont été approfondis au travers de diverses initiatives.

II. LES DIVERS TRAVAUX DE DOCTORAT

Sont relatés ci-dessous divers travaux de Doctorat qui ont permis de resserrer les liens entre le laboratoire de Liège et nos laboratoires (ou regroupements) français, tout en poursuivant les objectifs précédents.

Jean-Paul a toujours eu un rôle majeur, soit par le fait qu'il effectuait directement l'encadrement, soit parce que son point de vue d'évaluateur lors du suivi ou lors des soutenances apportait des éclaircissements complémentaires ou proposait des pistes originales.

A. Associer utilisations, spécifications et traitements

La conception des modèles nécessaires pour s'approprier les systèmes des sujets d'intérêt (comme le territoire) sous ses divers aspects (structure, fonctionnalités, dynamique) nous a amenés à l'idée de réaliser une analyse relative aux méthodes de conception dédiées à l'information géographique et aux formalismes associés dont les aspects spatiaux et temporels sont primordiaux. Prenant en compte les avancées proposées dans le livre que Jean-Paul Donnay avait déjà publié avec Dimos Pantazis en 1996 (Pantazis et Donnay, 1996), un premier acquis du programme GTEM fut l'adoption de l'approche orientée objet et du formalisme UML (*Unified Modeling Language*) qui nous a permis, à l'instar de nombreux travaux existants et en accord avec les propositions de standardisation OGC (OGC - OpenGIS Consortium Inc., 2003) et ISO 19110 (ISO/TC211, 2003), de concevoir divers modèles spatiaux et temporels réutilisables par la communauté. Ces modèles sont désignés en génie logiciel par le vocable de patrons spatiaux et temporels.

Suite à diverses interactions, François Laplanche, dans le cadre de sa thèse de Doctorat (Laplanche,

2006), a réalisé une synthèse portant sur la prise en compte de plusieurs aspects : types spatiaux et temporels pour les entités, relations topologiques, dynamique des entités, expressivité du formalisme proposé, lien avec des ateliers de génie logiciel au sein des méthodes de conception les plus utilisées tels que Perceptory et son Geo-UML (Bédard, 1999 ; Brodeur *et al.*, 2000 ; Bédard *et al.*, 2003), MADS et le projet MurMur (Parent *et al.*, 1997, 1998a, 1998b, 1999 ; Parent et Spaccapietra, 2000 ; Parent *et al.*, 2006), la méthode MECOSIG et le formalisme CONGOO (Pantazis et Donnay, 1996 ; Dravie, 1997 ; Brihaye, 1999 ; Sheeren, 1999) ainsi que la méthode POLLEN (Gayte et Libourel, 1997) plus spécifique aux Systèmes d'Information sur l'Environnement (SIE).

Cette thèse réalisée à l'Université de Liège sous la direction de Jean-Paul Donnay, propose un environnement modulaire de conception fondé sur les standards et sur les technologies *Open source* et proposé sur le *Web*.

Les cinq modules proposés ciblaient des communautés d'utilisateurs différentes : un module de catalogage pour les producteurs de données, un module conceptuel pour les concepteurs permettant l'expression de divers schémas, un module de création de bases de données (découlant des schémas conceptuels) destiné aux informaticiens, un module d'exploitation pour les utilisateurs finaux permettant interrogation et visualisation, un module de gestion des utilisateurs et développements pour le chef de projet (Figure 2).

En parallèle, en collaboration avec l'IGN et le laboratoire COGIT, une réflexion est amorcée dans le contexte de la thèse de Nils Gesbert intitulée « Étude de la formalisation des spécifications de bases de données géographiques en vue de leur intégration », réalisée sous la co-direction de Thérèse Libourel et Sébastien Mustière et soutenue en 2005 (Gesbert, 2005). Une des particularités incontournables des systèmes d'information géo-référencée est liée à la complexité du processus d'acquisition des données qui met en œuvre une expertise et un savoir-faire, lesquels sont consignés au sein de spécifications plus ou moins complètes. Cette phase de production d'information se fait, notamment, chez les producteurs institutionnels (comme l'IGN) à partir de spécifications décrites sous forme textuelle. Les données sont ensuite sauvegardées

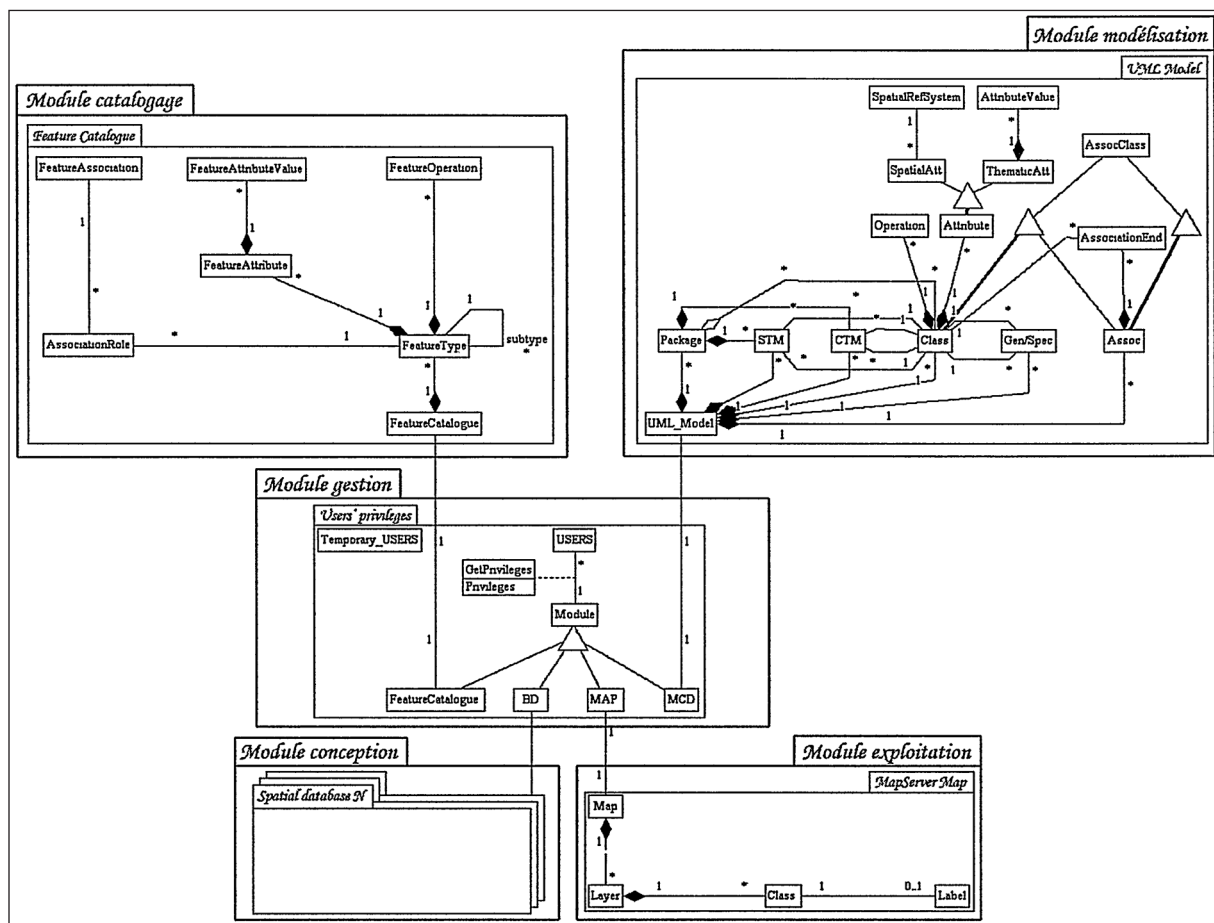


Figure 2. Les composants du prototype e-Space d'après F. Laplanche (2006)

dans diverses bases de données géographiques conformes à des schémas conceptuels obtenus grâce aux méthodes précédentes et décrits en termes de caractéristiques et en conformité avec les standards publiés par l'Open GIS Consortium. Afin d'aider à la future utilisation de ces diverses bases de données, voire à favoriser les échanges entre celles-ci ou leur intégration dans un système fédéré, il s'agit d'apparier les schémas conceptuels et les spécifications. Afin de déterminer ces correspondances, il est nécessaire de s'appuyer sur la connaissance précise des relations entre terrain réel et représentation dans chacune des bases de données ; autrement dit, sur les spécifications. La proposition consiste à représenter l'information qu'elles contiennent d'une façon plus formelle, permettant, par la suite, de faciliter la comparaison entre deux jeux de spécifications (Figure 3).

Dans les spécifications, on peut extraire un certain nombre de termes consensuels correspondant à des concepts géographiques partagés. Ces concepts contribuent à ce que l'on appelle une ontologie du domaine (représentation formelle) qui pourra

s'étendre au fur et à mesure de la détection de nouveaux concepts et donc à la détermination des correspondances entre bases de données pour l'intégration. Une entité géographique, instance d'un concept donné, peut donc être associée à une ou plusieurs représentations dans les différentes bases de données, en fonction de la nature et des propriétés de l'entité. Il s'agit donc de formaliser à partir des spécifications le lien entre l'ontologie et les schémas des différentes bases de données.

Toujours dans la même tendance, la thèse d'André Miralles (Miralles, 2006), co-dirigée par Christophe Dony et Thérèse Libourel et soutenue en 2006, propose quant à elle une démarche complète inspirée par l'approche MDA (*Model Driven Architecture*) et opérationnalisée via l'atelier de génie logiciel *Objecteering* (Miralles et Libourel, 2004)¹³. L'objectif était de prolonger et de consolider les diverses réflexions ou propositions autour des concepts spatiaux, temporels et spatio-temporels afin de les intégrer, d'une part, comme extension au niveau du méta-modèle d'UML (soit comme un raffinement des éléments de ce méta-modèle, soit en tant que

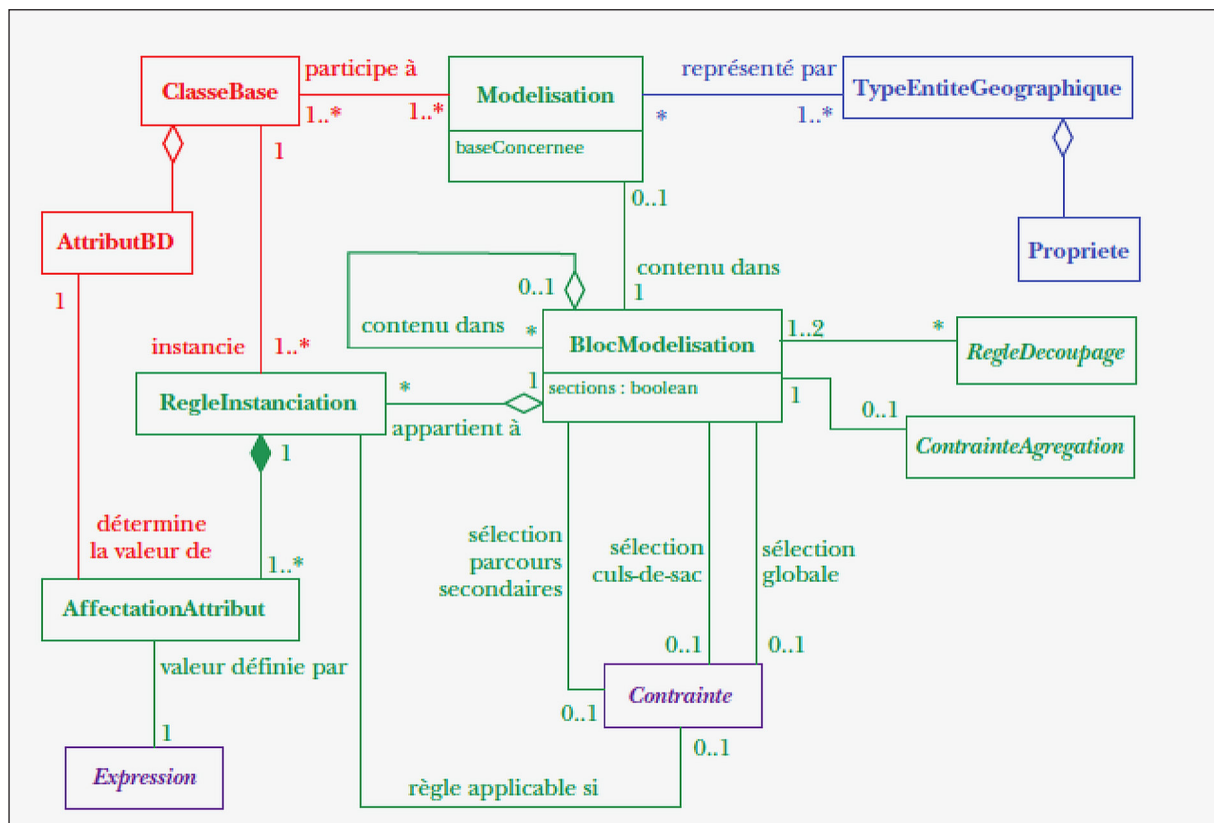


Figure 3. Diagramme UML du modèle de représentation d'après Gesbert (2006). En bleu, éléments de l'ontologie ; en rouge, ceux de la base.

« profil »¹⁴ dérivé du cœur du méta-modèle), et, d'autre part, comme outil de génération de code dédié aux outils spatiaux temporels (SIG outils ou SGBD spatio-temporels). Il s'agissait donc de définir un langage de description de « haut niveau » du domaine des SIG permettant le développement simplifié d'applications à partir de « composants préprogrammés ». Les notions de composants et de patrons sont largement répandues en génie logiciel à objets car elles constituent la clef de voûte des principes d'abstraction et de réutilisation. De plus, le domaine applicatif privilégié du Cemagref amène à penser que concevoir et construire des « profils métiers » constitués de patrons et de composants réutilisables est une voie prometteuse à condition de dépasser le cadre conceptuel pour offrir une aide complète dans la chaîne du développement d'une application au sein d'un AGL (Atelier de Génie Logiciel). Ainsi, le cœur de la thèse est de concevoir et d'implémenter un « profil SIG » générique, désigné par Profil SIG, dans l'AGL *Objecteering* pour faciliter la modélisation et la représentation d'entités spatiales (2D et 3D) et spatio-temporelles (espace + temps) nécessaires aux scientifiques des géosciences (Figure 4).

B. Organiser la circulation de l'information : méthodologie de partage et de diffusion

Le partage et la mutualisation d'information géographique deviennent indispensables car :

- l'information manipulée est souvent onéreuse ou difficile à constituer ;
- les besoins se font de plus en plus nombreux (risques naturels ou industriels, développement durable, changement climatique) ;
- les scientifiques et communautés accumulent des données, des informations et des connaissances au gré des divers projets menés.

La diffusion de l'information quant à elle, doit être adaptée aux besoins des utilisateurs et au contexte d'usage, ce qui impose une réflexion complémentaire sur les procédures de restructuration de celle-ci.

La synergie de notre groupe a permis à de nombreux projets de voir le jour à partir de la problématique du partage et de la mutualisation, et ce, pour divers partenaires :

- projet Réseau d'Observatoires de Surveillance

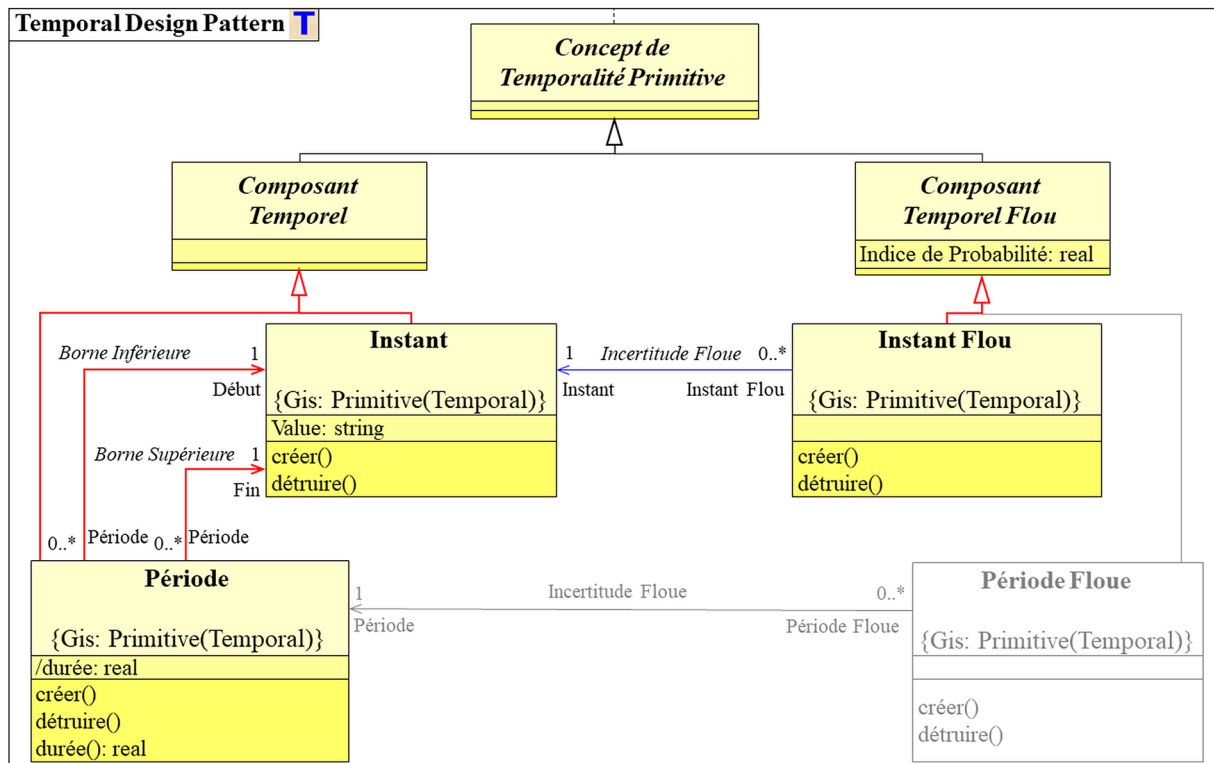


Figure 4. Patron temporel d'après Miralles (2006)

- Écologique à Long Terme ROSELT/OSS (IRD) ;
- AIC (Action Incitative Ciblée) CIRAD 1999-2002 « Données et métadonnées - Outils de représentation de la connaissance » ;
- réalisation d'un site Web de métadonnées décrivant les activités de recherche forestière et les connaissances actuelles en Afrique centrale ;
- projet « Systèmes Côtiers et Lagunaires » (SYSCOLAG) du plan État-Région.

La thèse de Julien Barde (2005) réalisée sous la co-direction de Thérèse Libourel et Pierre Maurel (Cemagref) propose une solution basée sur l'utilisation d'un service de métadonnées pour décrire et localiser l'information existante et d'un référentiel sémantique pour intégrer et partager la connaissance experte. Ces outils sont accessibles sur un portail *Web*, ce qui permet aux systèmes distribués « d'interopérer », de partager les métadonnées, l'information géographique, ou les concepts qu'ils hébergent. Le concept de métadonnée, certes très ancien, connaît un réel essor dans le monde du numérique et, plus particulièrement, celui de l'information géographique. Les réflexions menées dans les projets précédemment cités ont permis d'analyser l'apport des divers standards existants en terme de métadonnées depuis les plus généraux comme le *Dublin Core* jusqu'aux standards dédiés

à l'information géographique (FGDC, ANZLIC, CEN, ISO). Le choix dans la thèse s'est porté sur un service de métadonnées implémentant la norme ISO 19115 relative à la gestion de métadonnées pour l'information géographique. Le détail du référentiel sémantique est consultable sous la forme d'une base terminologique, d'un réseau sémantique et d'un atlas cartographique (basé sur la norme relative aux *Web Mapping Service* de l'OGC) dans le cas des concepts spatiaux. Il sert pour le contrôle de la valuation d'éléments clés du service de métadonnées, en particulier, les éléments de descriptions thématique et spatiale avec une interface cartographique (Figure 5).

La thèse de Sandrine Balley effectuée au COGIT sous la co-direction de Thérèse Libourel et Bénédicte Bucher et soutenue en 2007 (Balley, 2007) propose des services de restructuration des données afin de satisfaire au plus près les besoins de l'utilisateur. En effet, l'usage des données géographiques accessibles sur le *Web* se heurte à un verrou important, celui de l'inadaptation des structures¹⁵ de ces données au contexte d'utilisation.

Les producteurs de données diffusent des données sources conformes aux spécifications de leur domaine métier (ontologie du producteur). L'utilisateur quant à lui, compte tenu de l'utilisation

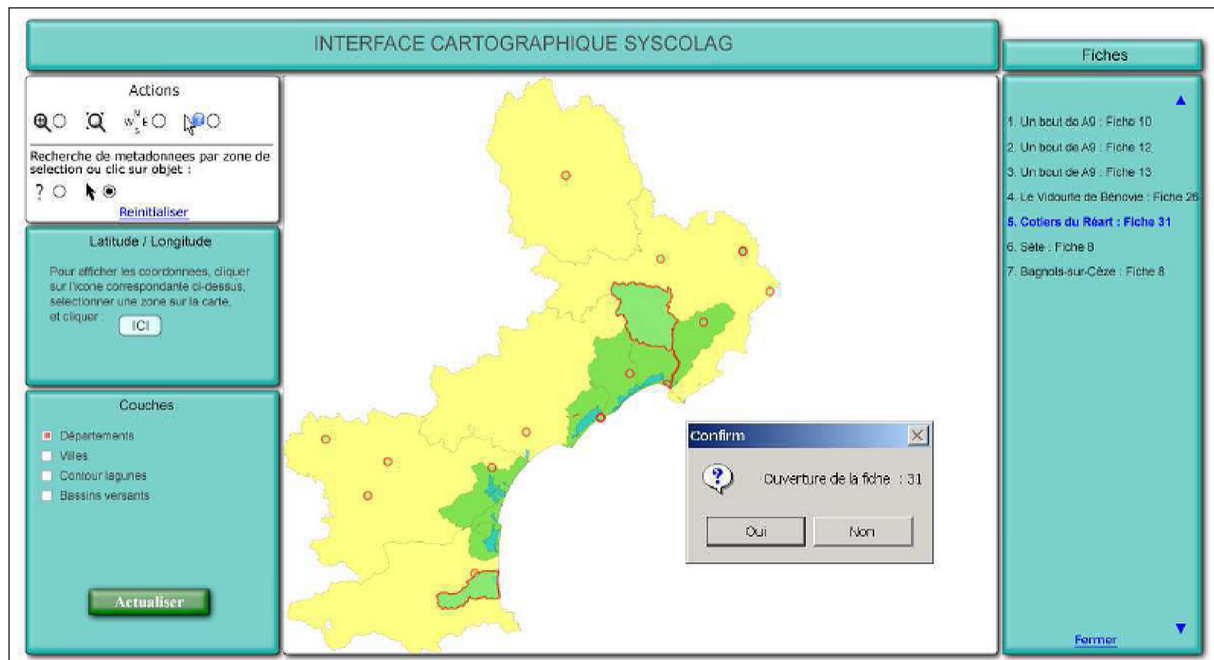


Figure 5. Interface cartographique du prototype de Julien Barde (d'après Barde, 2005)

envisagée, a une vision de ce que doivent être les données conformes à sa compréhension du domaine (ontologie de l'utilisateur). La proposition pour pallier le verrou précédent consiste à aider à la restructuration, c'est-à-dire à la transformation des données source, pour répondre aux besoins, et ce, de manière la plus automatique possible (Figure 6).

Enfin, plus récemment, les systèmes décisionnels fondés sur le concept d'entrepôt de données ont largement trouvé place dans les recherches sur l'information géolocalisée. Les entrepôts de données classiques servent de support à l'analyse et à la prise de décision. Ils intègrent des données diverses, orientées sujet et historisées, et ce, afin d'effectuer des traitements d'analyse en ligne (OLAP). Quant à eux, les entrepôts de données spatiales vont, de plus, exploiter la dimension spatiale au niveau des traitements analytiques (SOLAP) et de la diffusion des résultats sous forme cartographique. La plupart des propositions qui sont alors développées dans ce thème concernent uniquement l'information issue de données de modèle vecteur.

La thèse de Jean-Paul Kasprzyk (2015) effectuée à Liège sous la direction de Jean-Paul Donnay propose l'exploitation du modèle raster afin d'intégrer la continuité spatiale dans la structure multidimensionnelle d'un entrepôt alimentant un SOLAP raster. L'objectif applicatif initial était de produire,

selon une méthode très populaire de la cartographie criminelle, des cartes de *hotspots* en estimant la densité par la méthode des noyaux (*Kernel Density Estimation* ou KDE). Le KDE implique une vision continue de l'espace ; il fallait donc passer à l'idée d'un SOLAP raster (Figure 7).

L'idée présentée définit un outil SOLAP considérant le raster comme un cube de données apparenté à un cube MOLAP. Cet outil devrait par la suite être capable de gérer une analyse multidimensionnelle de l'information spatialement continue, tout en optimisant les agrégations spatiales. Un premier prototype a été validé sur quelques exemples de cartographie criminelle.

Dans ces travaux, la variété des problèmes abordés a suscité des échanges nombreux au cours de diverses réunions ou comités de suivi. La rigueur et l'ampleur des propositions et suggestions de Jean-Paul Donnay, toujours en adéquation avec les thèmes d'actualité, ont permis de présenter des solutions novatrices et originales. Il a accepté de rapporter sur les thèses de Nils Gesbert (2005), Julien Barde (2005), Sandrine Balley (2007) et, plus récemment, sur les travaux d'Habilitation à Diriger des Recherches (HDR) d'André Miralles (2016), ainsi que sur ceux relatifs à l'HDR de Jean-Christophe Desconnets (2017). Les discussions lors des jurys ont été animées, constructives et ont permis de diffuser les avancées plus large-

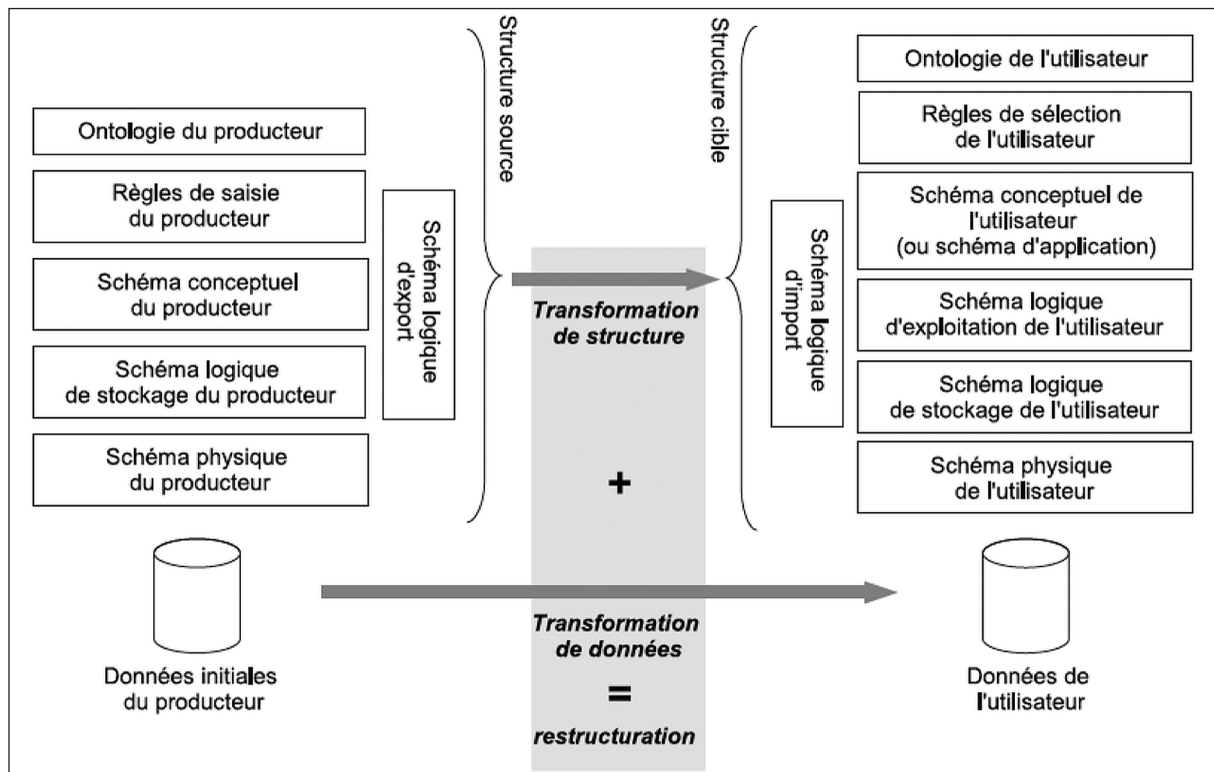


Figure 6. Structure source, structure cible et restructuration d'après Balley (2007)

ment, notamment au sein du GDR SIGMA et des conférences SAGEO.

III. LES RETOMBÉES DIVERSES

Jean-Paul Donnay, étant totalement investi dans les fonctions multiples d'un chercheur, a aussi largement contribué à la réalisation de diverses actions.

A. Enseignement

Au sein de l'unité de Géomatique de l'Université de Liège, Jean-Paul est impliqué dans les enseignements du Master en Géomatique et Géométrie. À ce titre, les organisateurs du Master en Géomatique proposé conjointement par les deux universités de Montpellier ont pu confronter leurs propositions à l'expérience liégeoise et les partager. Cela a donné lieu à des échanges notamment autour de l'unité d'enseignement « Conduite de projets » et a débouché, en 2009, sur un projet dans le cadre du Partenariat Hubert Curien TOURNESOL sur la conduite de projets en Géomatique. L'Université de Liège avait une convention de collaboration scientifique et d'échanges entre étudiants/enseignants avec l'Université de Sherbrooke depuis 2004. Le rapprochement avec le site montpellierain a débouché sur la mise en place, en 2013, d'un accord cadre d'alliance

stratégique entre les universités de Liège-Montpellier-Sherbrooke qui renforce les échanges d'étudiants et d'enseignants des divers masters de géomatique.

B. Expertise et animation scientifique

Jean-Paul Donnay est bien évidemment largement sollicité pour diverses expertises et animation de la vie scientifique.

Ainsi, nous avons, par exemple, participé à ses côtés à l'évaluation du thème de recherche *COmmunication pour l'Agriculture Informatisée* (COPAIN) au centre Cemagref de Clermont-Ferrand en 2002. Au cours de l'audition, André Miralles a débuté les échanges avec Jean-Paul autour de la modélisation des composantes spatiales et temporelles, et de son implémentation dans l'atelier de génie logiciel Objecteering. Ces échanges ont continué et André a ainsi pu demander à Jean-Paul Donnay d'être rapporteur de son HDR pour sa connaissance de ses divers travaux mais surtout pour sa compétence scientifique en Géomatique.

Plus récemment, l'évaluation, par l'Agence d'Évaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur (AERES), de l'IGN et des quatre laboratoires concernés, a été placée sous la direction de Jean-

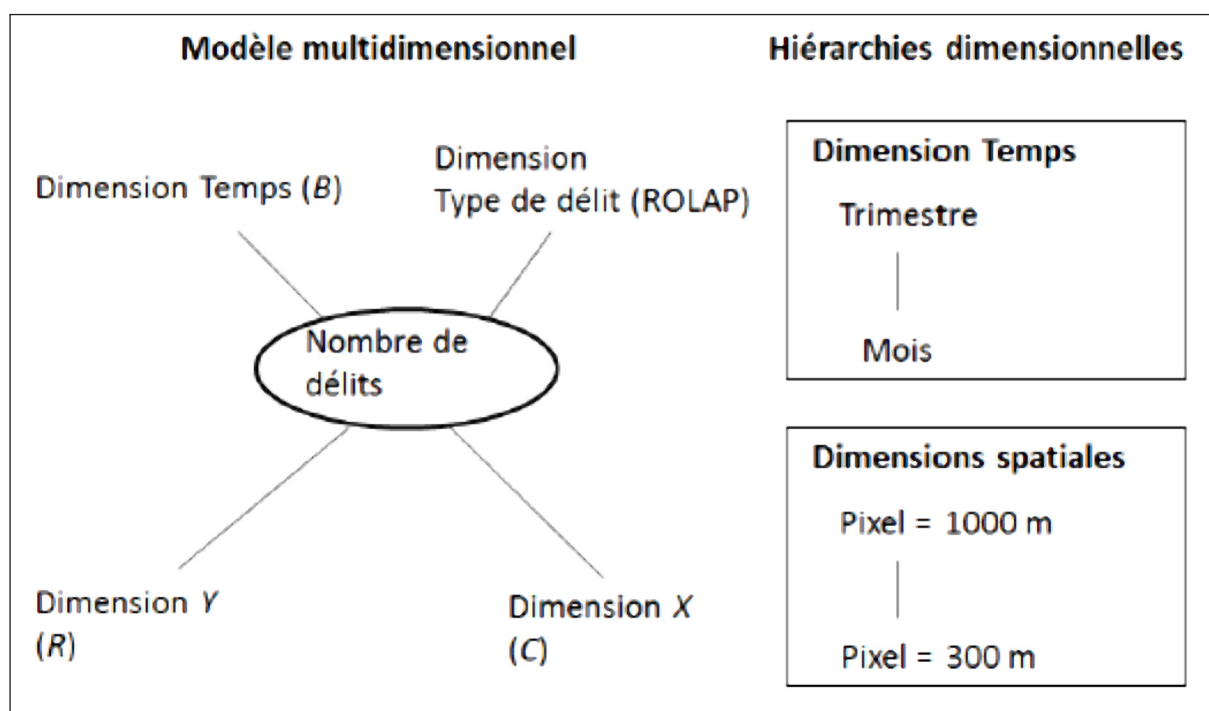


Figure 7. Schéma conceptuel d'un hypercube raster d'après Kasprzyk (2015)

Paul, en 2010. Encore une fois, sa rigueur et son ouverture d'esprit ont rendu cet exercice délicat fort intéressant par la qualité des interactions entre le comité et les membres de l'institution.

Notons enfin que Jean-Paul est Président du Comité scientifique de l'Equipex Géosud (Maison de la télédétection, Montpellier) depuis 2015, ce qui lui a donné l'occasion de débattre des contributions de Jean-Christophe Desconnets au système de mutualisation des images satellitaires de ce projet. Le GDR MAGIS (<http://gdr-magis.imag.fr/>) « Méthodes et Applications pour la géomatique et l'information spatiale », créé le 1^{er} janvier 2009 (à la suite du GDR SIGMA) et renouvelé en 2013 puis 2017, accompagne la recherche sur l'information géographique dans toute sa diversité. La conférence *Spatial Analysis and Geomatics* (SAGEO) est la conférence phare de ce GDR. Jean-Paul a été l'organisateur de SAGEO 2012 à Liège inaugurant, avec panache, la première tenue du colloque hors de France.

Enfin, Jean-Paul est un relecteur assidu des articles proposés dans la Revue Internationale de Géomatique (Édition Lavoisier).

CONCLUSION

Nous avons eu la chance de rencontrer Jean-Paul Donnay et mesurons combien cela fut précieux.

Nous voulons dire combien son apport fut important. Pour de modestes informaticiens, côtoyer un scientifique spécialiste dans les Sciences géographiques et en Géomatique, ouvert et rigoureux, nous a permis d'aborder des problèmes environnementaux et sociétaux inédits. Son activité au sein de l'Université de Liège a permis de renforcer la place de la Géomatique au sein des universités de Montpellier et des projets soutenus par les chercheurs montpelliérains.

À l'heure où les institutions européennes et nationales mettent en place des infrastructures de recherche dont certaines ciblent la gestion et le partage de l'information spatialisée, nous pouvons nous réjouir d'avoir abordé largement ce thème avec un tel partenaire. Nous poursuivons avec des actions initiatives au sein du GDR MAGIS et plus spécifiquement de l'Equipex Géosud. Encore une fois, un grand merci à Jean-Paul qui propose des réflexions sur des nouveaux enjeux comme la gestion des données massives.

Enfin, nous ne pouvons conclure sans ajouter que, en dehors des activités de recherche et d'enseignement, Jean-Paul est une personne curieuse de la vie en général. Découvrir au-delà des compétences académiques quelques-unes des autres facettes de son savoir comme par exemple ses compétences dans la mécanique et le sport automobile fut pour nous un supplément de plaisir.

NOTES

- 1 Centre National de Recherche Scientifique CNRS.
- 2 Institut Géographique National IGN.
- 3 École nationale du génie rural, des eaux et des forêts ENGREF.
- 4 Centre national du machinisme agricole du génie rural, des eaux et des forêts CEMAGREF.
- 5 Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement CIRAD.
- 6 Institut de recherche pour le développement IRD.
- 7 Territoires, environnement et acteurs TERA, Elevage et de médecine vétérinaire EMVT.
- 8 Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes TSCF.
- 9 Laboratoire d'Informatique, Robotique et Microélectronique de Montpellier.
- 10 Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme ROSELT Observatoire du Sahara et du Sahel OSS.
- 11 Cartographie et Géomatique COGIT.
- 12 Institut de Recherche de l'École navale IRENav.
- 13 L'un des partenaires (Cemagref) ayant choisi comme atelier de génie logiciel Objecteering, les potentialités de ce logiciel ont permis la mise en œuvre de la démarche complète proposée par André Miralles.
- 14 Un profil UML est un ensemble de stéréotypes et de contraintes qui vient compléter la définition standard d'UML (i.e, le métamodèle UML).
- 15 Structure : « ensemble des schémas et des règles permettant de représenter une portion du monde réel dans un jeu de données numériques ».

BIBLIOGRAPHIE

- Balley, S. (2007). *Aide à la restructuration de données géographiques sur le web : vers la diffusion à la carte d'information géographique*. Thèse de Doctorat. Université de Marne-la-Vallée.
- Barde, J. (2005). *Mutualisation de données et de connaissances pour la Gestion Intégrée des Zones Côtières. Application au projet SYSCOLAG*. Thèse de Doctorat. Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc.
- Bédard, Y. (1999). Visual modelling of spatial databases: towards spatial PVL and UML. *Geomatica*, 53(2), 169-186.
- Bédard, Y., Nadeau, M., Proulx, M.-J., Larrivée, S., Pageau, J. & Caron, C. (2003). *Perceptory, un outil de modélisation conceptuelle de bases de données spatiales*. <http://sirs.scg.ulaval.ca/perceptory/>
- Brihayé, M. (1999). *Contribution au développement d'un Outil CASE pour le soutien du formalisme CONGOO*. Travail de Fin d'Études, Université de Liège, Faculté des Sciences appliquées, inédit.
- Brodeur, J., Bédard, Y. & Proulx, M.-J. (2000). Modelling geospatial application databases using UML-based repositories aligned with international standards in geomatics, *Proceeding GIS '00 Proceedings of the 8th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, November 06-11, Washington DC, USA, pp. 39-46, DOI: [10.1145/355274.355280](https://doi.org/10.1145/355274.355280)
- Cheyland, J. P. & Chrisman, N. (2001). Comment le sens vient à l'information géographique. *Journées Cassini 2001 : Géomatique et espace rural*, Montpellier, pp. 189-203.
- Desconnets, J.-C. (2017). *Recherche d'information spatio-temporelle : Application aux images satellitaires*. Mémoire HDR, Université de Montpellier.
- Desconnets, J.-C., Libourel, T., Maurel, P., Miralles, A. & Passouant, M. (2001). Proposition de structuration des métadonnées en géosciences : spécificité de la communauté scientifique. *Journées Cassini 2001 : Géomatique et espace rural*, Montpellier, pp. 69-82.
- Dravie, S. (1997). *Contribution au développement d'un ensemble d'Outils CASE pour le formalisme de conception géographique Orienté Objet (CONGOO)*. Travail de Fin d'Études, Université de Liège, Faculté des Sciences appliquées, inédit.
- Gayte, O. & Libourel, T. (1997). *POLLEN : Méthode de conception des systèmes d'information sur l'environnement*. Rapport final, Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement (IARE) et Laboratoire d'Informatique, de Robotique et de Micro-électronique (LIRMM), Montpellier, inédit.
- Gesbert, N. (2005). *Étude de la formalisation des spécifications de bases de données géographiques en vue de leur intégration*. Thèse en Informatique, Université de Marne-la-Vallée, 133 p.
- ISO/TC211 (2003). Geographic Information / Geomatics. (<https://www.isotc211.org/>)
- Laplanche, F. (2006). *Environnement de conception de bases de données spatiales sur Internet*. Thèse de Doctorat en Sciences, Géographie, Université de Liège.
- Kasprzyk, J.-P. (2015). *Integration of spatial continuity in the multi-dimensional structure of a data warehouse -raster SOLAP* (Intégration de la continuité spatiale dans la structure multidimensionnelle d'un entrepôt de données - SOLAP raster). PhD, Université de Liège, <http://hdl.handle.net/2268/182360>
- Miralles, A., & Libourel, T. (2004). Démarche MDA pour la conception d'applications SIG. *Actes du 22ème Congrès INFORSID - IIIème Workshop sur les objets composants et modèles dans l'ingénierie des Systèmes d'Information*, Biarritz, France.
- Miralles, A. (2006). *Ingénierie des modèles pour les applications environnementales*. Thèse de Doctorat en Informatique, Université Montpellier II-Sciences et Techniques du Languedoc.
- Miralles, A. (2016). *Contribution à une conception rationnelle et malléable des systèmes d'information environnementaux*. Mémoire HDR, Université de Montpellier.

- OGC - OpenGIS Consortium Inc. (2003) <http://www.openGIS.org>
- Pantazis, D. & Donnay, J.P. (1996). *Conception de S.I.G. : Méthode et formalisme*. Collection Géomatique, Hermes, Paris, 352 p.
- Parent, C., Spaccapietra, S., Zimanyi, E., Donini, P. & Plazanet, C.M., Vangenot, C., Rognon, N & Crausaz, P.-A. (1997). MADS, modèle conceptuel spatio-temporel. *Revue Internationale de Géomatique*, 7, 36 p. [37422894_MADS_modele_conceptuel_spatio-temporel](#)
- Parent, C., Spaccapietra, S., Zimányi, E., Donini, P., Plazanet, C. & Vangenot, C. (1998a). MADS ou l'information spatiotemporelle à portée de ses utilisateurs. 8 p. <https://infoscience.epfl.ch/record/99113/files/TheoQ-MADS.pdf>
- Parent, C., Spaccapietra, S., Zimányi, E., Donini, P., Plazanet, C. & Vangenot, C. (1998b). Modeling Spatial Data in the MADS Conceptual Model. *Proceedings of the International Symposium on Spatial Data Handling*, SDH 98, Vancouver, Canada, July 11-15, 12 p. [37442655_Modeling_Spatial_Data_in_the_MADS_Conceptual_Model](#)
- Parent, C., Spaccapietra, S. & Zimanyi, E. (1999). Spatio-Temporal Conceptual Models: Data Structures + Space + Time. *Proceeding GIS '99 Proceedings of the 7th ACM international symposium on Advances in geographic information systems*, Kansas City, Missouri, USA, November 02-06, pp. 26-33, DOI: [10.1145/320134.320142](#)
- Parent, C. & Spaccapietra, S. (2000). Supporting Multiple Representations in Spatio-Temporal databases. *Proceedings of the 6th EC-GI & GIS Workshop*, Lyon, France, June 28-30, 2000, 7 p., EC-GIS.pdf
- Parent, C., Spaccapietra, S. & Zimányi, E. (2006). The MurMur project: Modeling and querying multi-representation spatio-temporal databases. *Information Systems*, 31(8), 733-769, DOI: [10.1016/j.is.2005.01.004](#)
- Sheeren, D. (1999). *La conception de bases de données spatio-temporelles, problématiques et solutions dans le cadre du formalisme CONGOO*. Mémoire de Fin d'Études en Sciences géographiques option Géométrie, Université de Liège, inédit, 113 p.

Coordonnées des auteurs :

Thérèse LIBOUREL
Professeur émérite Université de Montpellier
therese.libourel@umontpellier.fr

André MIRALLES
Ingénieur de recherche, IRSTEA, Montpellier
andre.miralles@irstea.fr

