

---

## Gestion de données spatio-temporelles au sein de bases de données capteurs

**A. Bouju\***— **F. Bertrand\***— **V. Malle-Noyon\***— **S. Servigne\*\***—  
**T. Devogele\*\*\***— **C. Ray\*\*\***— **H Martin\*\*\*\***— **J. Gensel\*\*\*\***

\* *L3i – Université de La Rochelle, Avenue M. Crépeau, 17042 La Rochelle cedex 01,*

*e-mail: {prenom.nom}@univ-lr.fr*

\*\* *INSA Lyon, UMR 5205, 69621 Villeurbanne Cedex*

\*\*\* *Institut de Recherche de L'Ecole navale EA 36 34, Lanvéoc 29240 Brest*

*e-mail: {prenom.nom}@ecole-navale.fr*

\*\*\*\* *Laboratoire LIG, UMR 5217, Saint-Martin-d'Hères BP 53 - 38041 Grenoble cedex 9*

*e-mail: {prenom.nom}@imag.fr*

---

*RÉSUMÉ. Les systèmes d'information à base de capteurs sont de plus en plus fréquemment utilisés pour de nombreuses applications comme la gestion de flottes de véhicules, la surveillance de trafic ou encore la surveillance de phénomènes environnementaux. Les données acquises par ces capteurs sont localisées et datées. Elles sont employées dans des applications de natures diverses gérant de grandes masses de données spatio-temporelles. Les réflexions et travaux présentés sont issus de membres des équipes de recherche collaborant au sein du pôle « capteurs » et du groupe projet « SIG mobiles, réseau de capteurs localisés, SIG ubiquitaires » du GDR 2340 MAGIS.*

*ABSTRACT. Sensor information systems are useful for different applications as Fleet Management System, Traffic or Environmental Monitoring Systems. These applications need huge data set of spatio-temporal information. The objective of this article is to present work results from teams of research collaborating within the pole “sensors” and within the working group “location-based services” of the French research group sponsored by CNRS, named GDR MAGIS (Methods and Applications for Geographic Information Systems).*

*MOTS-CLÉS: capteurs, objets mobiles, suivi de mobiles, SIG mobile.*

*KEYWORDS: sensors, moving objects, tracking systems, mobile GIS.*

---

## 1. Introduction

Ces dernières années, nous assistons à un essor remarquable de l'utilisation des technologies web, sans fil et radio pour accéder, diffuser, traiter et analyser de l'information localisée ou géo-référencée. Ces technologies (GPS, GSM, RFID, Bluetooth, Wi-Fi, ZigBee) se rapportent bien souvent à la localisation et aux déplacements de personnes, de biens, de marchandises ou de capteurs.

Dans le cadre du Groupe de Recherche MAGIS (<http://gdr-magis.fr>), nous avons créé un groupe de travail autour de la Mobilité. Cet article présente le résultat de nos premières réflexions sur les défis scientifiques et technologiques posés par le déploiement de ces technologies.

Dans le cadre de cet article, nous présentons la problématique de modélisation et de formalisation, ainsi que celle de l'intégration de données, et, plus précisément, de l'importance des métadonnées dans un contexte spatial et temporel.

## 2. Domaines d'application

Ces problématiques de recherche peuvent avoir de nombreuses retombées en particulier dans les domaines d'application suivants :

- transport, gestion de flottes,
- surveillance urbaine et environnementale,
- surveillance de risques.

Ces applications associent étroitement les aspects spatiaux et temporels dans un contexte souvent temps-réel nécessitant le développement de modèles spécifiques à la gestion de grands volumes de données, issus de capteurs distribués (OSIRIS, 2008). Ces systèmes d'information requièrent donc une structuration pertinente en temps réel des flux d'information (trajectoires, mesures, signaux...) issus de capteurs distribués, pour permettre une interrogation des données prenant en compte les dimensions spatiale et temporelle, ainsi que le contexte de l'acquisition (météorologie...). Les contraintes temps-réel, dépendantes du contexte applicatif, peuvent être plus ou moins fortes. Les flux de données sont issus d'un réseau de capteurs au sens large (tout périphérique géolocalisé émettant des informations estampillées à intervalles réguliers est considéré ici comme un capteur).

Ces systèmes d'information nécessitent également une adaptation de la visualisation aux besoins et aux moyens des usagers de ces systèmes. Différents profils d'usagers doivent pouvoir accéder aux informations de manière adaptée. Dans le cas d'un système de transport, par exemple, l'utilisateur souhaitera disposer d'informations pour planifier son trajet et les différents éléments de son voyage. Le gestionnaire souhaitera, quant à lui, analyser et optimiser son système pour offrir un service de qualité au meilleur coût. Enfin, les organismes de contrôle et de secours

souhaiteront identifier les situations de risques et planifier leurs interventions. Des travaux émergent également en direction de systèmes de transport intelligents dont l'objectif est la conception intégrée multimodale (Chen *et al.*, 2008).

### **3. Problématiques scientifiques**

#### **3.1. Intégration des données issues de différents capteurs**

Les données provenant des capteurs doivent être intégrées dans un système d'information pour permettre des traitements dédiés à différents domaines d'application (surveillance, analyse, ...). Pour faciliter la recherche d'information il faut mettre en place des méthodes de structuration permettant un traitement rapide des données (en particulier l'utilisation d'index) (Noël *et al.*, 2005a ; b ; Servigne *et al.*, 2008). Les mesures provenant d'un ensemble de capteurs sont envoyées vers une base de données centralisée éventuellement en mémoire vive (Bohannon *et al.*, 2001 ; Song *et al.*, 2003).

#### **3.2. Métadonnées spatio-temporelles temps réel**

L'architecture logicielle de tels systèmes d'information est orientée services et repose sur des normes. On notera en particulier pour les capteurs et les données les normes GML (Geography Markup Language) (ISO/TC211) et SensorML (Sensor Model Language), Web Feature Service, Web Processing Service ...

#### **3.3. Analyse de données spatio-temporelles**

Les bases de données proposent un ensemble d'opérateurs permettant la manipulation de données avec une composante temporelle ou avec une composante spatiale. Dans le cas d'un déplacement d'un objet mobile les deux composantes sont très liées (Mefteh *et al.*, 2008). Il est nécessaire de définir de nouveaux opérateurs comme par exemple la recherche de trajectoires types sur des réseaux (Brilingaité *et al.*, 2007) ou sur des espace ouvert (Etienne *et al.* 2009). Ces trajectoires peuvent également être utilisées pour des simulations (Fournier *et al.*, 2003). Il est également possible d'utiliser des ontologies pour l'étude des mouvements.

### **4. Gestion de données issues de réseaux de capteurs**

Les capteurs peuvent être catégorisés en fonction de leur degré de mobilité. Nous proposons une modélisation pour la structuration des données et des métadonnées. Un exemple d'architecture est proposé pour le suivi d'objets mobiles.

#### 4.1. Formalisation des objets

Nous proposons un formalisme qui divise les capteurs en trois catégories. Les capteurs fixes dont la position est fixée et qui effectuent des mesures avec une composante temporelle. Les capteurs agiles dont la position change selon une fréquence beaucoup plus faible que la fréquence de mesure, et les capteurs mobiles dont la fréquence de changement de position (mouvement) est proche de la fréquence de mesure. Cette catégorisation permet également d'adopter des méthodes d'indexation adaptées.

#### 4.2. Modèle de données capteurs

Au sein des réseaux de capteurs, les objets principaux concernent les capteurs et les mesures ou informations captées. La classe **Période**, associée à une position et un capteur, permet de connaître l'instant de début et de fin de la localisation de ce capteur, et définit ainsi la catégorie du capteur : fixe, mobile ou agile.

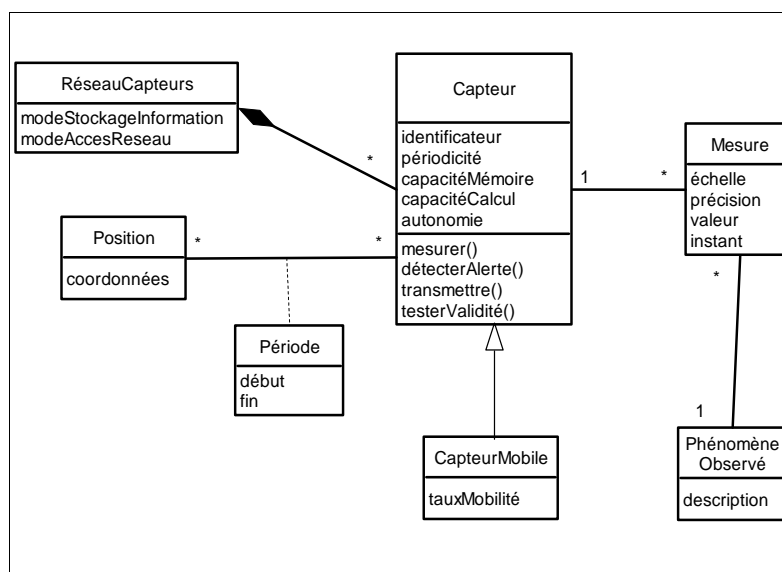


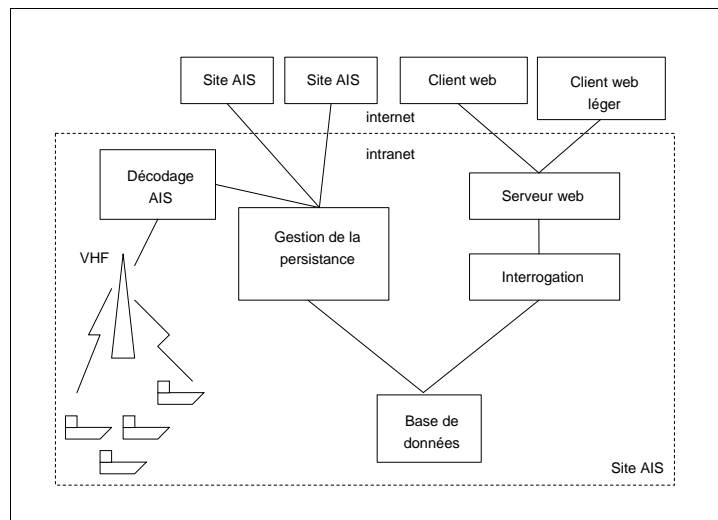
Figure 1. Modèle du domaine

Les métadonnées géographiques sont aujourd'hui définies selon des normes ISO (ISO 19115, 2006 ; Servigne *et al.*, 2006) et ont notamment pour vocation de faciliter l'échange des données entre utilisateurs différents et de renseigner sur la qualité des données. Les métadonnées spatio-temporelles temps réel sont définies comme étant « les données sur les données qui répondent aux besoins de

*l'utilisateur pendant un intervalle de temps déterminé pour une localisation et un instant de temps (date) précis* » (Gutiérrez *et al.*, 2007a,b). Dans certains cas, la position de l'objet (et de son capteur) est relative à une localisation absolue, par exemple dans le cas de suivi et de navigation « indoor » (Ray *et al.*, 2009).

### 4.3. Un exemple d'architecture

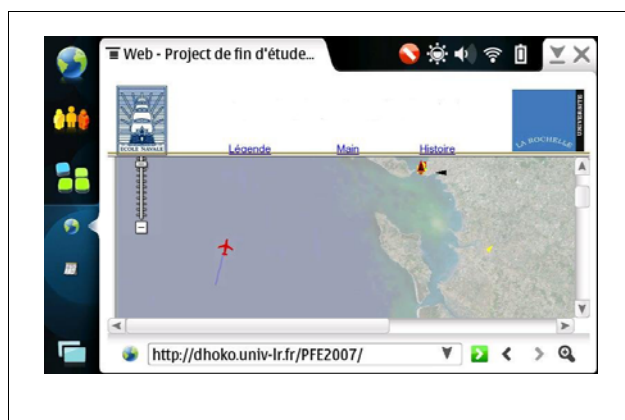
Pour évaluer les problèmes de stockage et de recherche d'information pour des objets mobiles, nous avons exploité la norme AIS (Automatic Identification System) qui permet aux navires d'échanger en temps-réel des informations sur leurs mouvements maritimes via des communications VHF (IMO, 2002). Un prototype a été mis en place pour permettre la conception de briques pour des systèmes d'information adaptés aux objets mobiles.



**Figure 2.** Architecture AIS distribuée

Un système a été mis en place à terre pour recevoir les messages émis par les navires (dans un rayon d'environ 30 km) décrivant leur position et des informations associées (type de navire, tirant d'eau...). Une architecture répartie (cf. la figure 2) a ensuite été conçue afin de permettre la réception, le stockage et la visualisation de la situation sous forme de cartes générées à la demande (modèle client/serveur à données et traitement distribués). Cette plateforme est proche des travaux (Sensor Web, 2007 ; Stasch *et al.*, 2008) concernant les « capteurs web ». Au sein de zones où la communication des données est impossible (zones d'ombre), un service d'estimation de position peut-être mis en œuvre (Redoutey *et al.*, 2008).

Cette architecture permet également d'effectuer la visualisation de séquences temporelles choisies par l'utilisateur (Bertrand *et al.*, 2007). La visualisation peut être effectuée à partir d'un client web classique ou client web léger (voir la figure 3 – navire+avion) et être adapté à des contextes mobiles (Follin *et al.*, 2004 ; Laucius *et al.*, 2005). Des travaux présentant des vues basées sur la vitesse relative et la distance relative ont été proposés par Noyon *et al.* (2007) pour faciliter la gestion du risque. Au-delà des mécanismes de visualisation et d'adaptation proprement dits, la conception de système d'information tend désormais vers une approche ubiquitaire contextuelle (Viana *et al.*, 2007). Ainsi, relativement aux « couteaux suisses multimédias » que sont à présent les dispositifs mobiles (les téléphones portables 3G, notamment), l'enjeu est de s'appuyer sur les différents capteurs embarqués disponibles (GPS, Bluetooth, accès Web) afin de collecter des métadonnées diverses (par exemple, les caractéristiques de l'appareil et les applications présentes, le lieu, le moment ...) et d'en inférer de nouvelles (par exemple, obtenir par service web le bulletin météorologique du lieu et du moment ...). La conception de tels systèmes peut également être abordée par une approche dans laquelle les contextes géographique, environnemental (i.e. les conditions d'utilisation), matériel et utilisateurs se combinent au sein de SIG interactifs (Petit *et al.*, 2006).



**Figure 3.** Client Web léger - NOKIA N810

## 5. Conclusion et perspectives

Cet article a présenté les problématiques scientifiques abordées par le groupe de travail « Mobilité » du GDR MAGIS, et montré les travaux réalisés dans ce groupe de travail autour de la modélisation, l'indexation, les métadonnées, les architectures, etc. permettant de mettre en œuvre des systèmes ubiquitaires traitant d'informations localisées ou géoréférencées, obtenues à l'aide de capteurs.

Le développement de dispositifs légers multi-fonctions dotés de capacités d'acquisition d'informations, de stockage, de traitement, de visualisation et de communication avec l'environnement ambiant ouvre de nombreuses perspectives pour le développement de services liés à la mobilité et d'applications de type réalité augmentée. Ces services pourront s'appuyer sur des informations issues de capteurs pouvant être fixes, agiles ou mobiles.

## 6. Bibliographie

- Bertrand F., Bouju A., Claramunt C., Devogele T., Ray C., "Web architectures for monitoring and visualizing mobile objects in maritime contexts", *Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2007)*, G. Taylor and M. Ware (eds.), Springer-Verlag, LN series in Computer Science (LNCS 4857), Cardiff, UK, 2007, p. 94-105.
- Bohannon P., McIlroy P., Rastogi R., "Main-memory index structures with fixed-size partial keys", SIGMOD Conference, 2001.
- Brilingaitė A., Jensen C.S., "Enabling routes of road network constrained movements as mobile service context", *GeoInformatica*, Springer, vol. 11, n° 1, 2007, p. 55-102.
- Chen S., Tan J., Ray C., Claramunt C., Sun Q., "An integrated GIS-based data model for urban multi-modal public transportation analysis and management", *Proceedings of the 16th International Conference on Geoinformatics (GEOINFORMATICS' 2008)*, SPIE Press, Guangzhou, China, 2008, p. 255-262.
- Etienne L., Devogele T., Bouju A. (2009) Analyse de similarité de trajectoires d'objets mobiles suivant le même itinéraire : Application aux trajectoires de navires, *Revue Ingénierie des Systèmes d'Information (ISI)*, numéro thématique Systèmes d'information et géolocalisation, Hermès, 22 pages, accepté.
- Follin J.-M., Bouju A., Bertrand F., Boursier P., "Visualization of multi-resolution spatial data in mobile system", *Proceedings of 1st International Workshop on Ubiquitous GIS (UbiGIS 2004)*, Gävle, Sweden, June 2004.
- Fournier S., Devogele T., Claramunt C., "A role-based multi-agent model for concurrent navigation systems", *Proceedings of the 6th AGILE Conference on Geographic Information Science*, Gould, M. *et al.* (eds.), Presses polytechniques et universitaires romandes, 2003, p. 623-632.
- Gaede V., Günther O., "Multidimensional access methods", *ACM Computing Surveys*, ACM Press, vol. 30, n° 2, 1998, p. 170-231.
- Gutiérrez Rodríguez C., Servigne S., Laurini R., "Towards real time metadata for network-based geographic databases", *Proceedings of ISSDQ2007, 5th International Symposium of Spatial Data Quality*, Enschede, The Netherlands, 13-15 June, 2007a.
- Gutiérrez Rodríguez C., Servigne S., « Métadonnées spatio-temporelles temps réel », *Revue des sciences et technologies de l'information : Ingénierie des systèmes d'information*, Hermès Science Publications, vol. 12, n° 2, 2007b, p. 97-119.
- International Maritime Organization, 2002, Guidelines for the onboard operational use of shipborne Automatic Identification Systems (AIS), resolution A.917, n° 22.
- ISO/TC 211 (2004) Geography Markup Language (GML), Standart international N 005r3 du WG 4/PT 19136.

- ISO19115 – An International Metadata Standard for Geographic Information,  
<http://grdc.bafg.de/servlet/is/2376>, 2006.
- Laucius S., Bertrand F., Stockus A., Bouju A., “Query management and spatial indexing in mobile context”, Proceedings of 8th AGILE Conference on Geographic Information Science, Lisboa, Portugal, May 2005, p. 429-438.
- Meffeh W., Bouju A., Malki J., Vers un modèle générique des trajectoires, Majestic, 2008, p. 46-49.
- Noël G., Servigne S., Laurini R., “The Po-tree: a soft real-time spatiotemporal data indexing structure”, Developments in Spatial Data Handling, 11th International Symposium on Spatial Data Handling, Springer-Verlag, 2005a, p. 259-270.
- Noël G., Servigne S., « Indexation multidimensionnelle de bases de données capteur temps réel et spatio-temporelles », Revue ingénierie des systèmes d'information, vol. 10, n° 4, 2005b, p. 59-88.
- Noyon V., Claramunt C., Devogele T., “A relative representation of trajectories in geographical spaces”, Geoinformatica, Springer, vol. 4, n° 11, 2007, p. 479-496.
- OSIRIS (Open architecture for Smart and Interoperable networks in Risk management based on In-situ Sensors) <http://www.osiris-fp6.eu>.
- Petit M., Ray C., Claramunt C., “A contextual approach for the development of GIS: Application to maritime navigation”, Proceedings of the 6th International Symposium of Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS), J. Carswell, T. Tezuka (eds.), Springer-Verlag LNCS 4295, Hong Kong, December 4-5, 2006, p. 158-169.
- Ray C., Comblet F., Bonnin J.-M., Le Roux Y.-M., “Wireless and information technologies supporting intelligent location-based services”, Wireless Technologies for Intelligent Transportation Systems, Chapter 10, M.-T. Zhou, Y. Zhang, L.T. Yang (eds.), Nova Science Publishers, 2009.
- Redoutey M., Scotti E., Jensen C.S., Ray C., Claramunt C., “Efficient vessel tracking with accuracy guarantees”, Proceedings of the 8th International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2008), M. Bertolotto, C. Ray, X. Li (eds.), Springer-Verlag, LN series in Computer Science (LNCS 5373), Shanghai, China, 2008, p. 145-157.
- Sensor Web, OGC, 2007, <http://www.opengeospatial.org/projects/groups/sensorweb>.
- Servigne S., Lesage N., Libourel T., “Spatial data quality components, standards and metadata”, Spatial Data Quality: An Introduction, International scientific and technical encyclopedia, March 2006, p. 179-208.
- Servigne S., Noel G., Real Time and Spatiotemporal Data Indexing for Sensor Based Databases. Geo-Information Technology for Emergency Response, Taylor & Francis, London, UK, 2008, p. 123-142.
- Song Z., Roussopoulos N., “SEB-tree: An approach to index continuously moving objects”, Mobile Data Management, 2003, p. 340-344.
- Stasch C., Bröring A., Walkowski A.C., “Providing mobile sensor data in a standardized way. The SOSmobile web service interface”, Proceedings of the 10th AGILE Conference, Girona, Spain, 2008.
- Viana W., Bringel J., Gensel J., Villanova-Oliver M., Martin H., “PhotoMap: Automatic spatiotemporal annotation for mobile photos”, Proceedings of the 7th International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2007), G. Taylor and M. Ware (eds.), Springer-Verlag, LN series in Computer Science (LNCS 4857), Cardiff, UK, 2007, p. 187-201.