

Gestion de masses de données temps réel au sein de bases de données capteurs

Sylvie Servigne, Thomas Devogele, Alain Bouju, Frédéric. Bertrand, Claudia Gutierrez Rodriguez, Guillaume Noel, Cyril Ray

▶ **To cite this version:**

Sylvie Servigne, Thomas Devogele, Alain Bouju, Frédéric. Bertrand, Claudia Gutierrez Rodriguez, et al.. Gestion de masses de données temps réel au sein de bases de données capteurs. Revue Internationale de Géomatique, 2009, 19 (2), pp.133-150. 10.3166/geo.19.133-150 . hal-00447142

HAL Id: hal-00447142
https://hal.science/hal-00447142

Submitted on 21 Sep 2017

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

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

Gestion de masses de données au sein de bases de données capteurs

S. Servigne[1], T. Devogele[2], A. Bouju[3], F. Bertrand[3], C. Gutierrez[1], G. Noel[1], C. Ray[2]

[(1)]*LIRIS, INSA Lyon,UMR 5205, 69621 Villeurbanne Cedex*
e-mail: { prénom.nom }@insa-lyon.fr
[(2)]*Institut de Recherche de L'Ecole navale EA 36 34, Lanvéoc 29240 Brest*
e-mail: {prenom.nom}@ecole-navale.fr
[(3)]*L3i, Université de La Rochelle,*
Pôle Sciences et Technologie1702 La Rochelle Cedex 1,
e-mail: {prénom.nom}@univ-lr.fr

RÉSUMÉ. *Les systèmes 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 et urbains. Les données acquises par ces capteurs sont localisées et datées. Elles sont employées dans des applications de nature diverse gérant de grandes masses de données spatio-temporelles en temps réel et différé selon les besoins. L'objectif de cet article est de présenter la problématique, et de fournir quelques éléments de réponse aux problèmes scientifiques identifiés. Après la présentation d'applications pertinentes et exploitables, une liste des verrous scientifiques est exposée. Des éléments de réponse sont ensuite détaillés. Ces réflexions et travaux sont issus de membres des équipes de recherche collaborant au sein de l'axe « Réactivité, Mobilité et Temps Réel » et du GT « Services Localisés » du GDR 2340 Sigma.*

ABSTRACT. *Systems based on sensor networks are more and more widespread for analysis, monitoring and tracking systems. Data captured by sensors have attributes concerning date and localisation and might be enriched with meta-information. Data are used in various applications whose aim is to manage masses of spatio-temporal data either at real time or at time differed. The objective of this article is to present the problems, and to provide some elements of solution to the identified scientific bolts. After the presentation of relevant applications, a list of scientific problems is exposed and some solutions are then detailed. These reflexions and work result from members of teams of research collaborating within the axis "Reactivity, Mobility and Real Time" and within the working group "LBS" of the French research group sponsored by CNRS, named GDR Sigma.*

MOTS-CLÉS : *Objets mobiles, objets agiles, gestion temps réel, base de données, indexation, métadonnées, suivi de mobiles,*

KEYWORDS: *Moving objects, agile objects, real time management, database, index, metadata, tracking systems.*

1. Introduction

Les systèmes 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 (Bertrand *et al.*, 2007) ou encore la surveillance de phénomènes environnementaux et urbains. Ces systèmes sont usuellement basés sur un ensemble de capteurs qui constituent le système d'acquisition. Ces capteurs, organisés ou non en réseau selon l'application, fournissent des mesures en temps réel et à fréquences variables, vers un système mobile, centralisé ou distribué.

La prise en compte de l'évolution de la localisation des capteurs dans le temps permet de les considérer comme pouvant être fixes, agiles ou mobiles. Les capteurs fixes conservent ainsi une position déterminée et seules les valeurs d'intérêt du capteur évoluent dans le temps (e.g. condition atmosphérique). Les capteurs mobiles sont caractérisés par un changement de position qui s'effectue en continu et où la localisation devient l'information majeure à traiter comme, par exemple, lors de la gestion de flotte. La notion d'agilité des capteurs est définie comme leur propension à changer de position entre deux prises de mesures. Cependant ce changement s'effectue de façon « discrète » contrairement aux capteurs mobiles. Ces capteurs peuvent ainsi être fixes pour de longue période puis mobiles sur des durées variables (e.g. suivi de la tectonique des plaques). La problématique de gestion des informations issues de capteurs agiles ou mobiles est spécifique en raison des caractéristiques des informations collectées. En effet si les informations sont variées, et ont des caractéristiques spatio-temporelles, elles sont fondamentalement temps-réel. Cette dimension temps-réel induit de nouveaux besoins en termes de structuration, d'exploitation, de visualisation de données et également en termes de structuration architecturale, de moyen de communication, de système et de périphériques.

L'objectif de cet article est de présenter la problématique de gestion de données spatio-temporelles issues de réseaux de capteurs, et de fournir quelques éléments de réponse aux verrous scientifiques identifiés. Après la présentation d'un panorama non exhaustif des applications qui nous semblent pertinentes et exploitables comme base de support à la problématique, une liste des verrous scientifiques est exposée. Des éléments de réponse sont ensuite détaillés. Ces réflexions et travaux sont issus de membres des équipes de recherche collaborant au sein de l'axe « Réactivité, Mobilité et Temps Réel » et du groupe de travail « Services Localisés » du GDR CNRS 2340 Sigma-Cassini CNRS.

2. Panorama d'applications

Les domaines d'application que nous avons prioritairement identifiés offrent un panorama des problématiques liées à la gestion de données spatio-temporelles temps réel : la surveillance environnementale, la surveillance de trafics et la gestion de flottes captives ou non.

2.1. Surveillance environnementale

Les réseaux de capteurs liés à des bases de données sont de plus en plus régulièrement utilisés dans des domaines tels que la surveillance de phénomènes naturels. Ces capteurs hétérogènes, mesurent différents paramètres : température, pression, clinométrie, etc. Alors que certains capteurs sont purement périodiques (sismographes), d'autres ne transmettent des mises à jours que lorsqu'un certain seuil de mesure est dépassé ou lorsqu'une variation de valeur est constatée. D'autres politiques combinent ces différents modes de fonctionnement.

Historiquement les capteurs sont représentés par leur identifiant. Les données collectées par un capteur sont ainsi aujourd'hui référencées selon ce capteur et estampillées dans le temps. Grâce aux évolutions continues de technologies permettant une mise à jour des informations de positionnement (notamment les moyens de communication), il devient utile de référencer les capteurs en fonction d'informations spatiales, déterminées via GPS ou triangulations diverses, afin de permettre aux utilisateurs des requêtes spatiales.

Une fois que les capteurs ont effectué leurs mesures, le problème du stockage de données se pose. Bien que certaines recherches préconisent l'utilisation de techniques de stockage au niveau des capteurs eux-mêmes, ou au niveau de capteurs intermédiaires, force est de constater que pour l'heure l'immense majorité des réseaux de capteurs utilisés envoient les données vers une base de données centralisée. Par la suite, une réplication de données peut être effectuée vers d'autres bases ou des entrepôts de données en dehors du réseau et sur disque, comme illustré par la Figure 1.

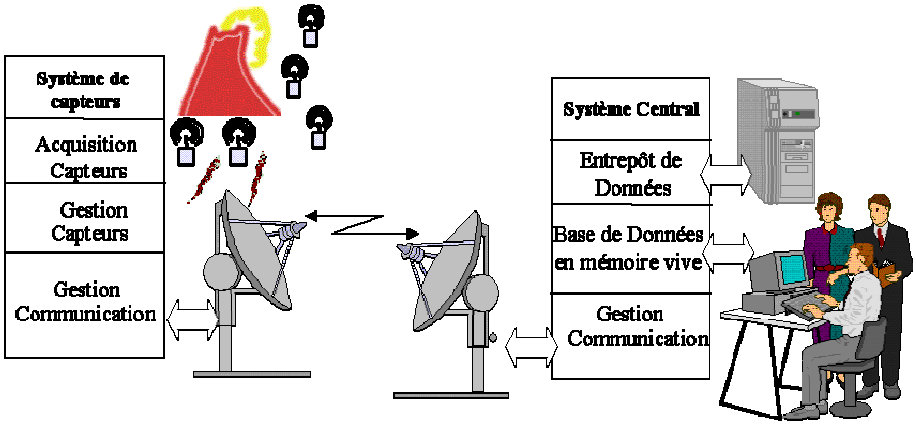


Figure 1. *Exemple de réseau de capteurs et système central*

De fait, les processus d'analyse des données collectées utilisent en priorité les données les plus récentes. Ainsi l'analyse s'effectue prioritairement en mémoire vive, alors que les mesures viennent d'arriver au niveau du système central. En effet,

le recours aux données sur disques, conservées dans l'entrepôt de données est réalisé lors d'analyses sur plus long terme ou nécessitant des comparaisons avec des mesures antérieures.

Les prises de mesures imposent à la base centrale des contraintes temps-réel. En effet, une mesure provenant d'un capteur donné doit être intégrée à la base avant qu'une mesure plus récente n'apparaisse dans celle-ci. De plus, il est parfois nécessaire de consulter les données dans des délais impartis. Bien qu'il soit souhaitable de conserver un long historique des mesures passées (afin de pouvoir comparer, retrouver des schémas similaires ou autre), les spécialistes sont le plus souvent intéressés par les données les plus récentes. Ainsi, au sein de la masse de données recueillies (certains capteurs peuvent avoir des fréquences s'exprimant en centaines de Hertz, voire plus), il est généralement souhaitable de pouvoir accélérer l'accès aux mesures reflétant l'état actuel du système.

2.2. Surveillance de trafic et systèmes de transport intelligents

Les systèmes de surveillance de trafic et les systèmes de transport intelligents (STI) visent à intégrer les technologies de l'information et de la communication aux infrastructures de transport ainsi qu'aux véhicules. Leur objectif est une optimisation de la gestion globale de différents éléments (systèmes de gestion des feux, systèmes de gestion des conteneurs, panneaux à messages dynamiques (PMV), …). Ces systèmes ont pour objectif l'amélioration de la sécurité, l'optimisation des flux de transport incluant la réduction de l'usage des véhicules, des temps de transport et des coûts en carburant. Ces systèmes s'appuient sur les communications sans fil, l'électronique, l'informatique embarquée et les réseaux de capteurs. Parmi les capteurs listés dans (Aubin *et al.*, 2006), il faut notamment citer :

- Les boucles à induction placées sous ou sur la chaussée pour détecter les véhicules qui passent. Les boucles les plus sophistiquées estiment également la vitesse, la longueur et le poids des véhicules ainsi que la distance qui les séparent.
- Les *Floating Car Data* (FCD) qui estiment à partir des positions issues de la triangulation des téléphones cellulaires ou de capteurs GPS, les positions et les vitesses d'un ensemble de véhicules.
- Les RADAR et les caméras vidéo pour le suivi de véhicules (Xei *et al.*, 2006) ou encore la lecture des plaques minéralogique.

L'ensemble des informations fournies par ces capteurs permet après recoupement, micro et macro analyses et simulation, de répondre à de nombreuses applications de sécurité, prévention des accidents, de gestion des congestions, de péages.

Les STI concernent essentiellement le trafic routier urbain et autoroutier. Cependant, des systèmes ferroviaires, aériens, maritimes coexistent mais les systèmes d'information existant gèrent ces réseaux de transports séparément. Des

travaux émergent ainsi en direction de STI dont l'objectif est la conception intégrée multimodale (Chen *et al.*, 2008). Par exemple le suivi des conteneurs nécessite des capteurs mobiles, des moyens de communication et des systèmes d'information qui doivent permettre la gestion et le suivi en mer, lors de ferroutage ou de convoyage routier et éventuellement aérien.

2.3. Gestion de flottes

Dans le domaine des transports et afin d'offrir un service aux usagers, il est nécessaire de définir des politiques de gestion des moyens mobiles (voitures, camions, train, avion, navires, ….). Cette gestion de flotte repose sur l'utilisation de moyens de communication et de localisation. Dans cet article, nous nous intéressons principalement aux problèmes de gestion de la position des objets mobiles ou agiles. Toutefois, concernant la gestion de flotte, co-existent des problèmes de gestion de l'entretien, de la facturation, du paiement du service, de l'optimisation des moyens… Si la gestion la plus simple d'une flotte consiste à gérer les points essentiels d'un trajet (départ, arrêt, arrivée), les moyens de localisation et de communication sans fils autorisent aujourd'hui le suivi à tout instant de la position des objets mobiles de la flotte. Les gestionnaires ont alors à leur disposition une visualisation en temps réel de la situation leur permettant de réagir rapidement lors de problèmes (saturation, accidents, ...). Une convergence existe entre la gestion de flottes et le suivi du traffic. On notera par exemple l'utilisation du suivi d'une flotte de taxis pour évaluer le trafic (région parisienne, Beijing, Singapour).

3. Problématiques scientifiques

La gestion de données spatio-temporelle issue d'objets mobiles ou agiles est un problème récent. Pour envisager des applications plus ambitieuses qu'une simple visualisation des valeurs collectées, nous avons identifié différents verrous scientifiques, qui ne constituent pas à eux seuls une liste exhaustive, mais qui permettent d'initier des problématiques de recherche.

3.1. Modélisation et formalisation

Les données issues de capteurs présentent des spécificités en partie dues au type de capteurs (fixe, agile ou mobile) et également au mode de mesure. Pour les objets mobiles, il est possible, par exemple, d'utiliser `DynamicFeatureType` du langage GML de l'ISO/TC211, pour caractériser un objet dont la position évolue au cours du temps. Néanmoins, ce type de données ne prend pas en compte les spécificités propres aux capteurs comme la nature du phénomène observé ou les référentiels utilisés pour les mesures. Nous avons donc établi un modèle générique de données ainsi qu'une formalisation des objets gérés (voir paragraphe 4.1 et 4.2).

3.2. Intégration des données issues de différents capteurs

L'utilisation de différents types de capteurs devant transmettre leurs informations, impose la présence de plusieurs services afin de faciliter la continuité de la localisation des objets et l'intégration des données issues de capteurs hétérogènes. Premièrement, un même objet pouvant être localisé par différents capteurs, chacun à des pas de temps différents, et chacun avec des informations complémentaires, le contrôle de la cohérence des informations doit être réalisé. La fusion des sources d'informations est ensuite possible. Deuxièmement, un problème d'interpolation se pose. Les données sont fournies de manière discrète. Or, pour certaines applications, il est indispensable d'obtenir des informations de manière quasi-continue ou avec une granularité spatio-temporelle différente de celle des données transmises. Troisièmement, des pannes pouvant survenir sur un des systèmes (capteurs, transmissions, relais, …), il s'avère utile d'estimer la position des objets mobiles, au cours des interruptions de courte durée. Finalement, au sein de zones où la communication des données est impossible (zones d'ombre), un service d'estimation de position est alors indispensable (Redoutey *et al.*, 2008).

3.3 Indexation de bases de données capteurs

Les systèmes de base de données capteurs sont de plus en plus fréquemment utilisés pour la surveillance de milieux à risques ou encore pour la prévention de catastrophes naturelles. Ces systèmes sont usuellement composés d'un ensemble de capteurs envoyant les mesures effectuées vers une base de données centralisée en mémoire vive (Bohannon *et al*, 2001 ; Song *et al.*, 2003). La fréquence des mesures et les besoins des utilisateurs imposent à la base des contraintes de traitement nécessitant un stockage rapide des données tout en valorisant les données les plus récentes. Quant au besoin semi-généralisé d'accéder aux données, non plus en fonction d'un identifiant de capteur, mais en fonction de critères spatiaux, il impose à son tour des caractéristiques spatio-temporelles. Il est donc nécessaire de définir des méthodes d'indexation de données spatio-temporelles en mémoire vive sous contraintes temps-réel. Des propositions de méthodes d'indexation ont ainsi été élaborées pour répondre à ces problématiques pour des données issues de capteurs fixes, dans un premier temps, puis pour des données issues de capteurs agiles (voir paragraphe 4.3)

3.4. Communication et visualisation des informations

Actuellement, les données issues des capteurs servent essentiellement à des systèmes de gestion et de visualisation de la situation de l'instant présent. Ces systèmes doivent pouvoir s'adapter à des utilisateurs ayant des objectifs et des degrés de compétence très divers, et être également dynamiques pour s'auto-configurer lors de la détection d'événements. Ainsi, la présentation à l'écran d'une congestion routière destinée à un décideur politique ne doit pas être la même que celle offerte à un gestionnaire du trafic qui administre le système de synchronisation

de feux rouges. Cette visualisation doit également permettre de s'adapter aux événements (accidents, congestions, etc.) afin de fournir à l'utilisateur la meilleure représentation (représentation la plus adéquate) des phénomènes qui viennent d'être détectés. Pour les objets mobiles en interactions, il est important de pouvoir représenter les déplacements des objets de manière relative. Des travaux présentant des vues basées sur la vitesse relative et la distance relative ont été proposés dans (Noyon et *al.* 2007).

Au-delà des mécanismes de personnalisation proprement dit, la conception de système d'information tend désormais vers une approche ubiquitaire contextuelle (Viana *et al.*, 2007). La conception de tels systèmes peut, par exemple, être abordée par une approche dans laquelle le contexte géographique, environnemental (i.e. les conditions d'utilisation), le contexte matériel et le contexte utilisateurs se combinent au sein de SIG interactifs (Petit et *al.* 2006). Ce type d'approche permet de définir et de contraindre la conception et les règles d'utilisation d'un service géographique en fonction des mobilités des utilisateurs, des composants informatiques offrant le service et de la zone géographique d'intérêt.

Un autre aspect concerne l'historique de ces données qui n'est pas mis suffisamment en valeur. Des techniques issues de la fouille de données, permettraient d'identifier des motifs (*patterns*) spatio-temporels. Par exemple, pour les cargos, la construction de motifs de trajectoires, servirait à la détection « en temps réel » des déplacements anormaux et d'attirer l'attention des opérateurs sur le navire concerné. Ces motifs pourraient aussi être employés par les services d'interpolation et d'estimation des trajectoires des objets mobiles ou pour distribuer des informations de trafic de manière pertinente (Brilingaitė *et al.*, 2007). Le couplage de ces systèmes de gestion de données spatio-temporelles avec des logiciels de simulation permettrait par exemple d'anticiper les futures situations critiques et de renforcer la sécurité des systèmes en transport (Fournier *et al*., 2003). En termes de visualisation, la personnalisation et l'adaptation de la visualisation des motifs spatio-temporels en fonction du contexte d'utilisation et à un niveau de granularité approprié reste également un problème d'actualité.

3.5. Métadonnées spatio-temporelles temps réel

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. Toutefois, ces critères qualité sont définis pour des données statiques exploitées par des applications traditionnelles. Ces critères ne prennent pas en compte la qualification de données dynamiques notamment issues d'objets (munis de capteurs) mobiles, agiles ou de mesures temps réel exploitées dans des applications « en ligne ». Quelques questions se posent comme par exemple : quelles sont les informations nécessaires à prendre en compte dans les métadonnées de données spatio-temporelles temps-réel ? Comment différencier données et métadonnées dans un contexte temps-réel ?

La gestion temps-réel des données spatio-temporelles issues de capteurs nécessite donc une étude et une définition des métadonnées en temps-réel notamment pour l'évaluation de la qualité des données intervenant dans les processus de décision (Gutierrez *et al.*, 2007). L'ensemble des capteurs fournissant des données spatio-temporelles de qualité hétérogène, l'exploitation de métadonnées s'avère indispensable.

4. Premiers éléments de contributions aux problématiques liées à la gestion de masses de données spatio-temporelles issues de réseaux de capteurs

Après une description d'une modélisation UML des données manipulées dans un réseau de capteurs, nous détaillons une formalisation des objets issus de capteurs. Des méthodes d'indexation de données issues de capteurs fixes et agiles ont été conçues et sont rapidement présentées avant de donner un exemple d'architecture d'objets mobiles concernant une flotte de navires.

4.1. Modèle de données capteur

Un modèle générique UML de données mesures et capteurs est présenté en Figure 2. Un réseau de capteurs est composé de capteurs. Les capteurs peuvent effectuer plusieurs mesures de types différents. Les capteurs peuvent se différencier suivant plusieurs catégories en fonction de leur taux de mobilité à savoir capteur fixe, agile ou mobile.

On notera que les capteurs fixes et agiles forment traditionnellement la majeure partie de ceux utilisés dans les systèmes de surveillance de phénomènes naturels alors que les capteurs mobiles sont souvent dédiés au suivi ou à la gestion de flottes. Un capteurs mobile est un capteur et donc hérite de ses propriétés. Le capteur mobile est caractérisé par son taux de mobilité. Un capteur agile est un capteur mobile mais avec une mobilité restreinte. Les capteurs agiles et mobiles occupent donc diverse positions au cours du temps.

4.2. Formalisation des objets

Au sein des réseaux de capteurs, les objets principaux concernent les capteurs et les mesures ou informations captées. Nous proposons un formalisme pour les objets correspondant à des ensembles de mesures issus des trois types de capteurs (fixe, mobile, agile).

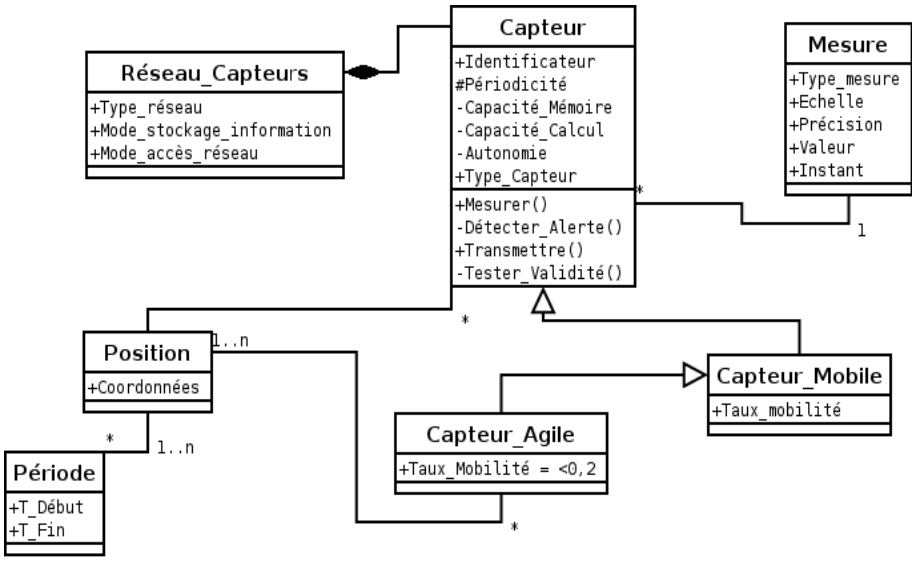


Figure 2. *Modèle de données mesures et capteurs*

Nous appelons « id » l'identifiant de l'objet, il est unique et ne varie pas dans le temps. Chaque objet représenté dans la base est identifié. Nous appelons idC, l'identifiant du capteur. La position de ces objets est nommée « S », elle est associée à un système de coordonnées géographiques ou cartographiques. Les positions des objets peuvent être définies dans des systèmes différents. La plupart du temps, la position est obtenue par un système de positionnement par satellite mais peut également être obtenue par triangulation terrestre (e.g. via réseau GSM). Dans certains cas, la position de l'objet (et son évolution) est relative à une location absolue par exemple dans le cas de suivi et de navigation « indoor » (Ray *et al.*, 2009). À ces objets positionnés sont associés des attributs thématiques. La valeur de ces attributs est soit figée, soit variable dans le temps. Les attributs dont la valeur varie sont nommés « A^j ». Pour chaque attribut A^j une valeur A_i^j est donnée à un instant T_i. Les instants T_i sont ordonnés ($T_i < T_{i+1}$). Les valeurs A_i^j sont fournies par les capteurs à pas constants ou à pas variables. Les attributs fixes sont nommés B^k. Leur valeur ne varie pas dans le temps. Une fois ces notations définies, les objets issus des trois types de capteurs peuvent être formalisés.

<u>Objet issu de capteurs fixes</u> (OCF) :

Pour les objets issus de capteurs fixes, la position du capteur est figée, seules les valeurs des A^j varient dans le temps. Nous pouvons donc définir ces objets à l'aide d'un identifiant, une position, une série temporelle où pour chaque instant T_i est communiquée une valeur pour chaque A^j ainsi que des attributs de valeur fixe.

OCF : id, idC, S, $\{T_i, \{ A_i^j \}\}$, $\{B^k\}$ avec A_i^j : mesure de type A^j à l'instant *i*

Objet issu de Capteurs agiles (OCA) :

Pour les objets issus de capteurs agiles, la position du capteur ne varie pas selon la même granularité que les attributs A^j. Nous pouvons donc formaliser ces objets à partir d'un identifiant et d'une première série temporelle des positions prises par ce capteur. A l'intérieur de cette série temporelle, une deuxième série temporelle des valeurs A_i^j pour chaque A^j, est définie. Elle contient la série de mesures réalisées à cette position par le capteur. Des attributs de valeur fixe viennent compléter ce formalisme.

OCA : id, idC, $\{S_t, \{T_i, \{ A_i^j \}\}, \{B^k\}$

$S_{t+\Delta t}$: localisation spatiale durant la période $t + \Delta t$

T_i : date et heure à l'instant *i* avec $t \leq i \leq t + \Delta t$ et $T_i \leq T_{i+1}$

A_i^j : mesure A^j de type *j* à l'instant *i* et B^k : attribut de valeur fixe

Objet issu de capteurs mobiles (OCM) :

Pour les objets issus de capteurs mobiles, la position du capteur est susceptible de varier à chaque envoi d'information. Nous pouvons donc formaliser ces objets comme un identifiant, une série temporelle où, pour chaque instant T_i, est communiquée une position S_i et une valeur A_i^j pour chaque A^j. Des attributs de valeur fixe viennent compléter ce formalisme.

OCM : idO, idC, $\{S_i, T_i, \{ A_i^j \}\}, \{B^k\}$

4.3. Indexation de données issues de capteurs fixes et agiles

Afin de répondre aux impératifs de l'indexation de bases de données centralisées en mémoire vive, utilisées conjointement avec des données issues d'un réseau de capteurs, nous avons développé une première solution, le PoTree (Noël *et al.*, 2005a). Cette solution vise à indexer les données d'un réseau de capteurs fixes, référencés spatialement, tout en valorisant les données les plus récentes et les requêtes d'indexation. Le PoTree (cf. Figure 3) propose de séparer les aspects temporels et spatiaux (Noël, 2004). Il vise à indexer des données spatio-temporelles, en minimisant la taille de la structure, et en valorisant les recherches de points spatiaux et d'intervalles temporels. Il cherche également à faciliter les mises à jour de données concernant des points spatiaux déjà connus (capteurs fixes). Le PoTree permet ainsi de répondre à des requêtes du type : « trouver les données issues du capteur situé à la position <X;Y> émises entre T1 et T2. » Ou bien encore : «Trouver les données situées dans la zone définie par les points <X1;Y1>, <X2;Y2> à l'instant T.» En utilisant d'abord des paramètres spatiaux pour restreindre le nombre d'accès à la structure, le PoTree se distingue des autres index fondés uniquement sur les identifiants de capteurs.

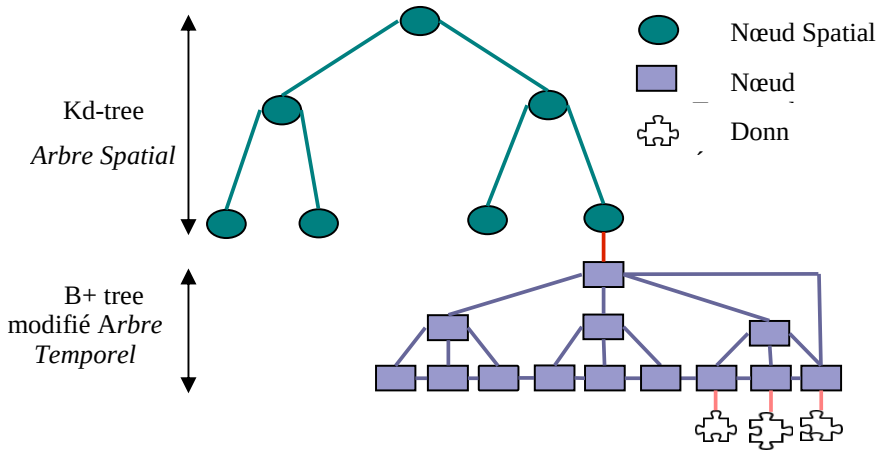


Figure 3. *Structure du PoTree*

Une autre méthode d'indexation a été élaborée afin de prendre en considération l'agilité d'un capteur. Le PasTree (Noël *et al.*, 2005b), à l'instar du PoTree, est une solution d'indexation pour bases de données spatio-temporelles en mémoire, travaillant sur les données issues d'un réseau de capteurs. Cependant, il ajoute au PoTree la gestion de *l'agilité* des capteurs ainsi qu'une compatibilité avec les modes d'interrogation actuels, basés sur les identifiants des capteurs, et non pas uniquement sur des aspects purement spatio-temporels. Enfin, une troisième méthode d'indexation, le StH (Figure 4), a également été élaborée afin de prendre en compte la gestion de la saturation en mémoire vive.

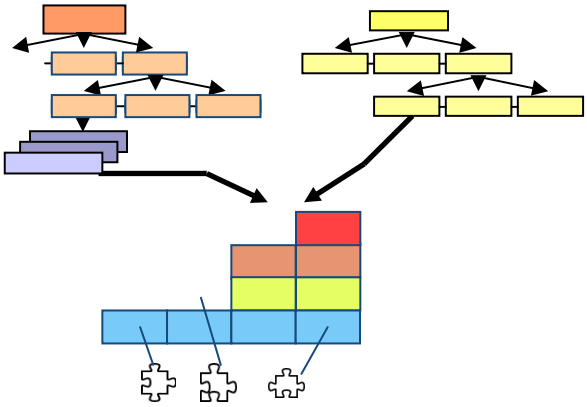


Figure 4. *Structure générale simplifiée du StH*

Le Sth reprend la structure globale du PasTree : accès multicritère aux données, arbre spatial spatial multiversion centré sur les capteurs. Une fonction de chaleur propre à chaque capteur a été ajoutée permettant la gestion de la saturation de la mémoire (Servigne et al. 2008).

4.4. Vers une définition des métadonnées spatio-temporelles temps réel

Généralement, les métadonnées sont définies selon leur contexte d'utilisation et leur contenu. Dans notre contexte, nous définissons les métadonnées spatio-temporelles temps réel 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., 2007 a). Nous avons ainsi analysé les métadonnées spatio-temporelles suivant plusieurs dimensions : généricité, dynamicité, extraction… (Gutiérrez et Servigne, 2007 b).

En raison du dynamisme des données temps réel et de leur exploitation, les utilisateurs concèdent qu'il est souvent difficile d'établir la distinction entre une donnée et une métadonnée. Un modèle des données STTR (Spatio-Temporelles Temps Réel) a été élaboré afin de servir de support à l'identification des informations relevant des données ou des métadonnées. Ce modèle est cohérent avec les modèles issus de la norme de l'OGC. A partir de ce modèle, il est possible d'établir des règles et des conditions d'éligibilité (données ou métadonnées) selon la sémantique des données ou encore la dynamicité des données.

Une classification des métadonnées en métadonnées statiques et métadonnées dynamiques a également été définie. Ces catégories correspondent à la caractéristique de dynamicité des données qui peut être transmise aux métadonnées selon le contexte d'exploitation des données.

Le contexte temps réel peut également conduire à la distinction de deux niveaux de métadonnées : les métadonnées génériques et les métadonnées applicatives. Les métadonnées génériques décrivent l'information minimum requise pour l'identification et la définition d'un ensemble de données. Ces métadonnées représentent le socle des éléments indispensables et communs à la documentation d'une application STTR. Les métadonnées applicatives quant à elles décrivent l'information particulière de chaque système, par rapport au type d'application et à ses caractéristiques. Ces métadonnées son optionnelles et peuvent être ajoutées selon les besoins de l'utilisateur.

Le problème de granularité des métadonnées fonction de la granularité des données est plus sensible dans un contexte temps réel. En effet, si la granularité des données versus granularité des métadonnées est une problématique étudiée pour des données géographiques statiques (Devillers et al., 2005), la dynamicité des données nécessite à nouveau une étude. Les flux étant continus dans le temps voire dans l'espace, granularité et flux semblent être, de prime abord, difficilement conciliables.

Un autre aspect important concerne l'extraction des métadonnées et l'exploitation des métadonnées dans un contexte temps réel. En effet, un des objectifs de l'utilisation des métadonnées est de fournir à l'utilisateur toute information utile pour une meilleure exploitation de ses données. Ces métadonnées doivent être actualisées et disponibles. Elles permettent d'offrir à l'utilisateur une information de qualité à temps et avec précision. Dans le contexte temps réel, les processus d'extraction et d'exploitation de métadonnées sont assez importants. Nous pouvons ainsi faire une distinction entre extraction automatique et extraction à la demande de l'utilisateur.

4.5. Un exemple d'architecture pour le suivi d'objets mobiles : les navires

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 mobilités à la mer via des communications VHF (IMO, 2002). Les données échangées par un navire équipé du système AIS incluent, la position GPS, la date et l'heure associées à cette position. Le système transmet également à une échelle de temps moins régulière des meta-informations liées au navire (identifiant international, nom, taille) et à son déplacement (destination, date et heure prévue d'arrivée).

Un système a été mis en place à terre pour écouter les messages permettant d'obtenir la position et des informations sur chaque navire visible par le récepteur radio (environ 30 km). Une architecture répartie (cf. Figure 5) a ensuite été conçue afin de permettre la réception, le stockage et la visualisation de la situation sous forme de carte à la demande (modèle client-serveur à données et traitement distribuées). Cette architecture permet également d'effectuer la visualisation de séquences temporelles choisies par l'utilisateur (Bertrand *et al.*, 2007).

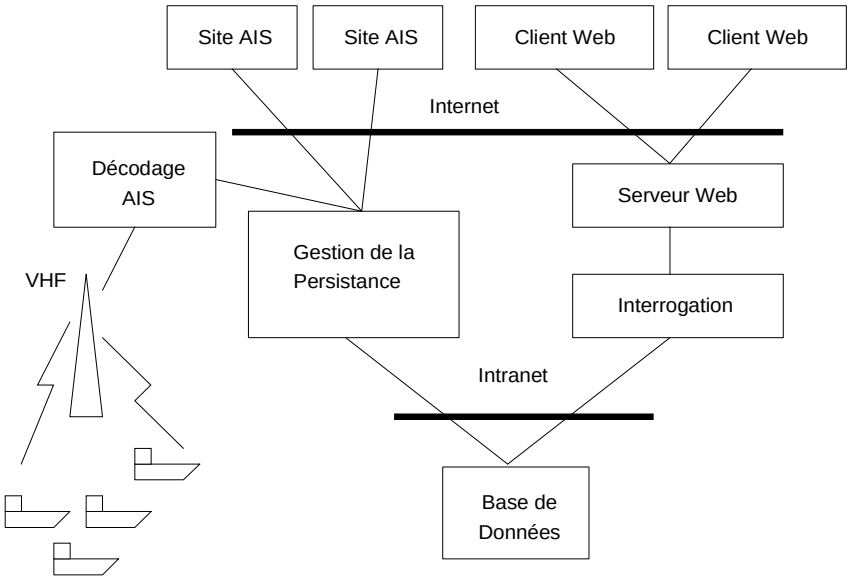


Figure 5. *Présentation du système de suivi de navires par AIS*

4.5.1. Architecture du système AIS

Les données provenant de l'AIS sont archivées dans une base de données. L'objectif est de faciliter des recherches de données mais également de réaliser la séparation entre la gestion du stockage et de recherche de données. Nous effectuons le suivi des objets mobiles en enregistrant les positions des navires à certaines dates. Dans les systèmes AIS le nombre de positions échangées varie en fonction de la vitesse et du comportement des bâtiments. Notre objectif dans cette étude est de mettre en place une plateforme permettant le stockage, le filtrage et l'indexation des positions d'objets mobiles et d'étudier les conditions qui permettent d'avoir à la fois des mises à jour fréquentes et des requêtes pour la visualisation ou la gestion.

Le système gère les positions en provenance d'un récepteur AIS situé au Technopole de Brest et d'un récepteur AIS situé à l'Université de La Rochelle. Les sont recueillies en continu depuis plusieurs années. Le récepteur AIS de Brest fourni à titre indicatif 3 million de points par an (un filtrage est réalisé pour limiter aux positions utiles l'insertion, en base de données, des objets fixes qui transmettent régulièrement).

Nous étudions également l'adaptation de nos travaux aux traitements d'informations provenant d'aéronefs. Ces derniers, notamment ceux effectuant du transport public, possèdent des équipements (transpondeur mode S) permettant de diffuser (et d'échanger) des informations sur leurs paramètres (vitesse, altitude). Nous pensons qu'une grande partie des composants logiciels développés dans le

cadre de l'AIS peuvent être utilisés pour le traitement de ce type d'information, l'adaptation portant principalement sur la gestion de la troisième dimension. La gestion rapide et efficace de la masse de données produite par le système de localisation aérien engendre également un challenge (environ 15 million de point par mois).

4.5.2. AIS et base de données

Actuellement, des bases de données relationnelles disposent d'extensions facilitant la manipulation de données géographiques. Ces bases permettent la gestion efficace d'un grand volume de données. Elles offrent également une bonne gestion de la concurrence c'est-à-dire qu'il est possible d'effectuer à la fois des insertions et d'effectuer des recherches dans la base de données. De plus, elles offrent un langage de requête, SQL (Structured Query Language) connu et exploité depuis longtemps. Avec les bases de données, des interfaces comme JDBC (Java DataBase Connectivity) ou ODBC (Open Database Connectivity) sont également disponibles facilitant l'utilisation dans des applications.

Nous avons choisi d'utiliser une base de données PostgreSQL, avec son extension spatiale PostGIS, pour effectuer le suivi d'objets mobiles et la visualisation de leurs déplacements. Dans un premier temps, un système permettant le stockage des positions et la mise à jour des positions des navires a été réalisé. Dans ce cas, il est nécessaire de mettre en œuvre un mécanisme pour réorganiser les données de la base lors de modifications fréquentes de la base de données. Le système conserve des informations sur les modifications et il y a des « trous » dans l'indexation. PostgreSQL offre un mécanisme (« VACUUM ») plus ou moins automatique selon les versions de PostgreSQL permettant la réorganisation des données. S'il n'est pas effectué, l'utilisation de la base devient de plus en plus lente voire impossible. Actuellement, nous mémorisons les positions successives des objets mobiles et utilisons des index permettant de mettre à jour et d'interroger les données stockées. Ce système permet la gestion d'un volume important de données avec les facilités offertes par un système de gestion de bases de données.

5. Conclusion et perspectives

Dans cet article nous soulignons que le développement de moyens de communication sans fil et de localisation suscite le développement d'applications avec de nouvelles contraintes (gestion de données en temps réels, grand volume de données, …). Nous proposons de considérer ces applications comme des systèmes de gestion de capteurs pouvant être fixes, agiles ou mobiles. Cette approche correspond aux résultats de nos travaux réalisés dans le cadre de l'axe « Réactivité, Mobilité et Temps Réel » et du groupe de travail « Services Localisés » du GDR Sigma-Cassini. Ces travaux portent principalement sur des applications de suivi de navigation maritime et de gestion de sismographes.

Nous proposons trois types d'objets géolocalisés. Les OCF sont des Objets issus de Capteurs Fixes. Les OCA sont des Objets issus de Capteurs Agiles. Les OCM sont des Objets issu de Capteurs Mobiles. Précisons que la notion d'agilité des capteurs est définie comme leur propension à changer de position entre deux prises de mesures mais de façon discrète, contrairement aux capteurs mobiles dont le changement de position s'effectue continuellement et où la localisation devient l'information majeure à traiter. La gestion de ces données doit s'effectuer avec des contraintes plus ou moins fortes qu'il s'agisse de gestion de risques ou de visualisation du trafic. Nous présentons des problèmes et les solutions que nous avons adoptées dans deux contextes applicatifs. Pour ces applications nous avons utilisé des méthodes d'indexation en mémoire et des bases de données avec des extensions spatiales. Les objets que nous proposons doivent nous permettre d'évaluer, en fonction des types d'objets et des flux de données, les choix à effectuer pour la gestion des objets. Nous devrons en particulier trouver un équilibre entre stocker des masses importantes de données peu structurées avec des difficultés au niveau de l'interrogation et une forte structuration de données (avec des index pour l'interrogation) consommatrice en temps d'exécution pouvant donc entrainer des pertes de données. Nos travaux seront également mis en regard des spécifications proposées par l'Open Geospatial Consortium (Sensor Web, 2007) concernant les « capteurs web ».

Bibliographie

Aubin, S., Plainchaut, P., Ieng, S.-S., Auberlet, J.-M., 2006, In Proceedings of the 6th International Conference on ITS Telecommunications (ITS-T 2006), pages 870-873, W. Guangun, S. Komaki, F. Pingzhi and G. Landrac (eds.), Chengdu, China, ISBN 0-7803-9586-7

Bohannon P., McIlroy P., Rastogi R.. 2001. Main-Memory Index Structures with Fixed-Size Partial Keys, *In SIGMOD Conference*.

Bertrand F., Bouju A., Claramunt C., Devogele T., Ray C., 2007, Web architectures for monitoring and visualizing mobile objects in maritime contexts, *In Proceedings of the 7th International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2007)*, pages 94-105, G. Taylor and M. Ware (eds.), Springer-Verlag, LN series in Computer Science (LNCS 4857), Cardiff, UK.

Brilingaitė A., Jensen C.S., 2007, Enabling Routes of Road Network Constrained Movements as Mobile Service Context, GeoInformatica, Springer, Volume 11, Number 1, Pages 55-102

Chen, S., Tan, J., Ray, C., Claramunt C., Sun, Q., 2008, An Integrated GIS-based Data Model for Urban Multi-modal Public Transportation Analysis and Management, In Proceedings of the 16th International Conference on Geoinformatics (GEOINFORMATICS' 2008), SPIE Press, pages 255-262, Guangzhou, China

Follin J-M, Bouju A., Bertrand F. and Boursier P. 2004. 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. and Claramunt C., 2003, 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 Polythechniques et Universitaires Romandes, pp. 623-632*

Gaede V., Günther O., 1998. Multidimensional access methods. *ACM Computing Surveys*, vol. 30, no 2, ACM Press: 170-231.

Gutierrez Rodriguez,C., Servigne S., Laurini R., 2007 a, Towards Real Time Metadata for Network-Based Geographic Databases. In *Proceedings of ISSDQ2007, 5th International Symposium of Spatial Data Quality*, 13-15 June 2007, Enschelde, The Netherlands, 8 pages 2007

Gutierrez Rodriguez,C., Servigne S. 2007 b, Métadonnées Spatiotemporelles Temps-Réel. Revue des sciences et technologies de l'information : Ingénierie des Systèmes d'Information 12(2):p. 97-119, Lavoisier, ISBN 978-2-7462-1913-, ISSN 1633-1311.

International Maritime Organization, 2002, Guidelines for the onboard operational use of shipborne Automatic Identification Systems (AIS), resolution A.917(22), 14 pages

ISO/TC 211 (2004) Geography Markup Language (GML), Standart international N 005r3 du WG 4/PT 19136

ISO19115, 2006. ISO19115 – An International Metadata Standard for Geographic Information, http://grdc.bafg.de/servlet/is/2376 (Dernière consultation le 7 Novembre 2008).

Laucius S., Bertrand F., Stockus A. and Bouju A. 2005. Query management and spatial indexing in mobile context. *Proceedings of 8th AGILE Conference on Geographic Information Science*, pp 429-438 Lisboa, Portugal, May 2005

Noël G., Servigne S., Laurini R. 2005a. The Po-tree: a soft real-time spatiotemporal data indexing structure. *Developments in Spatial Data Handling*. SDH04, 11th International Symposium on Spatial Data Handling. Springer Verlag. ISBN: 978-3-540-22610-9. 2005. pp259-270.

Noël G, Servigne S. 2005b. Indexation multidimensionnelle de bases de données capteur temps-réel et spatiotemporelles. In: *Revue Ingénierie des Systèmes d'information*, 2005. Vol.10, n°4. pp. 59-88

Noyon, V., Claramunt, C., and Devogele, T., 2007, A Relative Representation of Trajectories in Geographical Spaces, Geoinformatica, Springer, vol. 4, n. 11, pp. 479-496

Sensor Web, OGC, 2007, http://www.opengeospatial.org/projects/groups/sensorweb, (Dernière consultation le 7 Novembre 2008)

Petit M., Ray C. and Claramunt C., 2006, A contextual approach for the development of GIS: Application to maritime navigation, in Proceedings of the 6th International Symposium of Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS), J. Carswell and T. Tezuka (eds.), Springer-Verlag LNCS 4295, Hong Kong, December 4-5, pp 158-169.

Ray, C., Comblet, F., Bonnin, J.-M., Le Roux, Y.-M., 2009, Wireless and Information Technologies Supporting Intelligent Location-based Services, *Wireless Technologies for Intelligent Transportation Systems*, Chapitre 10, M.-T. Zhou, Y. Zhang, L.T. Yang (eds.), Nova Science Publishers, a paraitre

Redoutey, M., Scotti, E., Jensen, C.S., Ray, C., Claramunt, C., 2008, Efficient Vessel Tracking with Accuracy Guarantees, In Proceedings of the 8th International Symposium on

Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2008), pages 145-157, M. Bertolotto, C. Ray, X. Li (eds.), Springer-Verlag, LN series in Computer Science (LNCS 5373), Shanghai, China

Servigne S., Lesage N., Libourel T., 2006, Spatial data quality components, standards and metadata. *Spatial data quality: an introduction*. International scientific and technical encyclopedia, ISBN 1905209568, March. 2006. pp179-208

Servigne S., Noel G. 2008, Real time and spatiotemporal data indexing for sensor based databases. Geo-Information Technology for Emergency response. Taylor&Francis: London, UK. Pp. 123-142. Book with Scientific Committee. ISBN 13:978-0-415-42247-5

Song Z., Roussopoulos N., 2003, SEB-tree: An Approach to Index Continuously Moving Objects , *Mobile Data Management*, 2003, pp. 340-344

Viana, W., Bringel, J., Gensel, J., Villanova-Oliver, M., Martin, H., 2007, PhotoMap: Automatic Spatiotemporal Annotation for Mobile Photos, *In Proceedings of the 7th International Symposium on Web and Wireless Geographical Information Systems (W2GIS 2007)*, pages 187-201, G. Taylor and M. Ware (eds.), Springer-Verlag, LN series in Computer Science (LNCS 4857), Cardiff, UK

Xei, L., Zhy, G., Tang, M., Xu, H., Zhang, Z., 2006, Vehicles Tracking Based on Corner Feature in Video-based ITS, In Proceedings of the 6th International Conference on ITS Telecommunications (ITS-T 2006), pages 163-166, W. Guangun, S. Komaki, F. Pingzhi and G. Landrac (eds.), Chengdu, China, ISBN 0-7803-9586-7