

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

S. Servigne¹, D. T. Devogele², A. Bouju³, F. Bertrand³, C. Gutierrez¹, S. Laucius³, G. Noel¹, C. Ray²

⁽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: {nom}@ecole-navale.fr*

⁽³⁾*L3i, Université de La Rochelle,
Pôle Sciences et Technologie 1702 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 ou urbains. Les données acquises par ces capteurs sont localisées et datées. Elles sont employées dans des applications temps réel et temps différé très diverses gérant de grandes masses de données spatio-temporelles. L'objectif de cet article est de présenter la problématique, et de fournir quelques éléments de réponse aux problèmes scientifiques identifiés. Après la présentation des applications qui nous semblent 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 used from planet wide monitoring systems to tracking systems. Data captured by sensors have attributes concerning date and localisation. Data are used in various applications which are real time or time differed applications managing masses of spatio-temporal data. 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 the applications which seem to us relevant, a list of the scientific problems is exposed. Brive 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 system.*

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 ou encore la surveillance de phénomènes environnementaux ou 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, envoient des mesures en temps réel et à fréquence variable, vers un système centralisé. Les capteurs peuvent être fixes, agiles ou mobiles. 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 dont le changement de position s'effectue en continu et où la localisation devient l'information majeure à traiter comme, par exemple, lors de la gestion de flotte. La problématique de gestion des informations est ici 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, exploitation, visualisation de données et également d'architectures 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 n'envoient 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 de capteur. Les données collectées par un capteur sont ainsi aujourd'hui référencées selon ce capteur et estampillées dans le temps. Grâce à l'apparition de technologies permettant une mise à jour des informations de positionnement, 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 en mémoire vive, 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.

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.

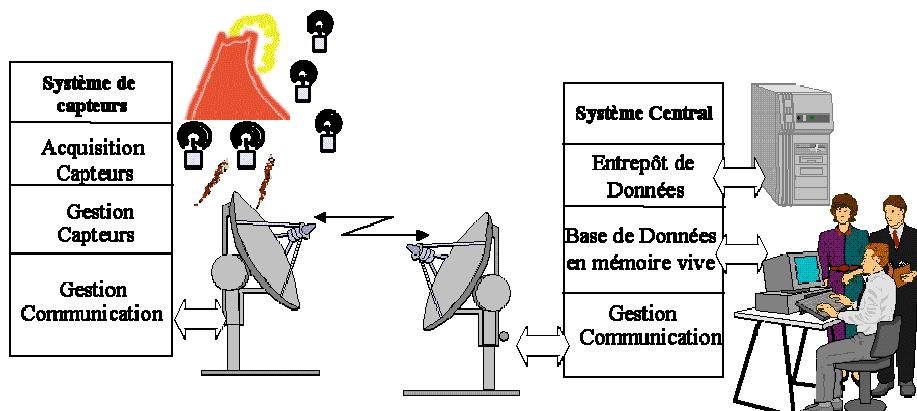


Figure 1. Exemple de réseau de capteurs et système central

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 et la réduction : de l'usage des véhicules, des temps de transport et des coûts en carburant. Ils concernent essentiellement le trafic routier urbain et autoroutier. Cependant, des systèmes ferroviaires, aériens, maritimes co-existent. Un système maritime sera d'ailleurs détaillé plus loin dans cet article. Ces systèmes s'appuient sur les communications sans fil, l'électronique, l'informatique embarquée et les réseaux de capteurs. Parmi les capteurs il faut 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 de détection avec lecture des plaques minéralogique pour les plus perfectionnées.

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

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 trafic. On notera par exemple l’utilisation du suivi d’une flotte de taxis pour évaluer le trafic en région parisienne.

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 permettent d’initier des problématiques de recherche.

3.1. Modélisation et formalisation

Les données issues de capteurs présentent des spécificités en partie dues, d’ailleurs, 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 leur information, 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.

3.3 Indexation de bases de données capteurs

Comme nous l'avons précisé précédemment, 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 spatiotemporelles. 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 à l'instant présent. De plus, 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. Des recherches sur les SIG adaptatifs gérant des données de déplacements de navires sont en cours (Petit et al. 2006). 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).

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 suspects et d'attirer l'attention des opérateurs sur le cargo 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 (Brilingaité et al. 2007).

Le couplage de ces systèmes de gestion de données spatio-temporelles avec des logiciels de simulation consiste aussi un défi à relever. Celui-ci permettrait

d'anticiper les futures situations critiques et de renforcer la sécurité (Fournier et al. 2003).

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 temps réel issues de réseau 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 (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 par exemple que les capteurs fixes et *agiles* forment 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 capteur 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.

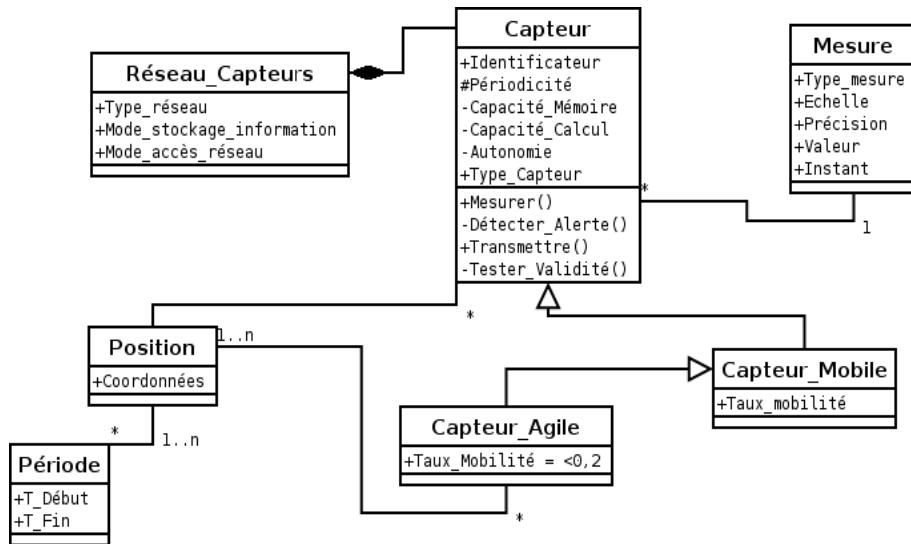


Figure 2. Modèle de données mesures et capteurs

4.2. Formalisation des objets

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

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. 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. **Objet issu de capteurs fixes (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). Plus précisément, 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 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 $\langle X;Y \rangle$ émises entre $T1$ et $T2$. » Ou bien encore :

«Trouver les données situées dans la zone définie par les points $\langle X1;Y1 \rangle$, $\langle X2;Y2 \rangle$ 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.

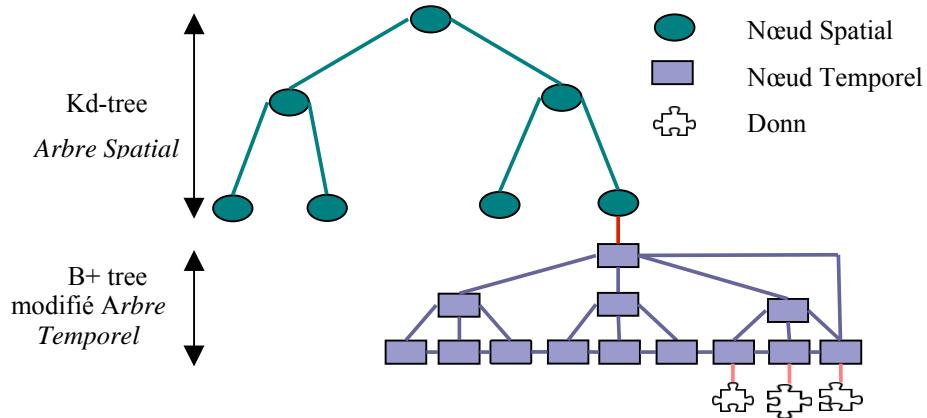


Figure 3. Structure du PoTree

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.

4.4. 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 l'échange d'informations, en particulier, leur position en utilisant une liaison VHF. 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 (cf. Figure 4) a ensuite été conçue afin de permettre la réception, le stockage et la visualisation de la situation sous forme de carte à la demande. Cette architecture permet également d'effectuer la visualisation de séquences temporelles choisies par l'utilisateur.

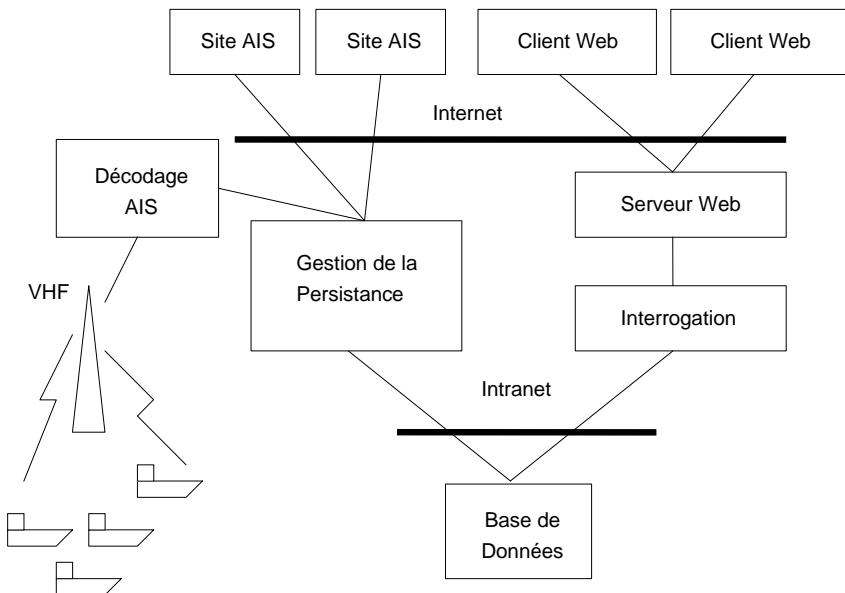


Figure 4. Présentation du système de suivi de navires par AIS

4.4.1. 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 bâtiments à certaines dates. Dans les systèmes AIS le nombre de positions échangées varie en fonction de la vitesse des bâtiments. Notre objectif dans cette étude est de mettre en place une plateforme permettant le stockage 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 actuellement 670 000 positions en provenance de l'AIS du Technopole de Brest et 668 000 positions en provenance de l'AIS de l'Université de La Rochelle (données recueillies sur une période de plusieurs mois).

Nous étudions actuellement 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.

4.4.2. 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 voir ces applications comme des systèmes de gestion de capteurs pouvant être fixes, agiles ou mobiles. Cette approche correspond aux résultats de nos travaux sur des applications de suivi de navires 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 issus 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 entraîner des pertes de données. Nos travaux seront également mis en regard des spécifications en cours de l'Open Geospatial Consortium (OGC, 2007) concernant les « capteurs web ».

Bibliographie

- Bohannon P., McIlroy P., Rastogi R.. 2001. Main-Memory Index Structures with Fixed-Size Partial Keys, *In SIGMOD Conference*.
- Brilingaité A. and Jensen C. 2007. Enabling Routes of Road Network Constrained Movements as Mobile Service Context, *GeoInformatica*, Springer, Volume 11, Number 1, Pages 55-102
- 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 Polytechniques 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. Towards Real Time Metadata for Network-Based Geographic Databases. *Proceedings of ISSDQ2007, 5th International Symposium of Spatial Data Quality*, 13-15 June 2007, Enschede, The Netherlands, 8 pages 2007.
- 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/> (accessed 20 Nov. 2006).
- 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 Devoge, D., 2007, A relative representation of trajectories in geographical spaces, *Geoinformatica*, Kluwer Academic, A paraître

OGC. 2006, <http://www.opengeospatial.org/projects/groups/sensorweb>.
Dernière consultation : 30/05/2007

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.

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

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

<http://www.springerlink.com/content/g1778471wv521k77/?p=82e78451acf24697bb996dfb4a17ac56&pi=2>