

Métadonnées Spatiotemporelles Temps-Réel

Claudia Gutierrez Rodriguez, Sylvie Servigne

► **To cite this version:**

Claudia Gutierrez Rodriguez, Sylvie Servigne. Métadonnées Spatiotemporelles Temps-Réel. Revue des Sciences et Technologies de l'Information - Série ISI : Ingénierie des Systèmes d'Information, Lavoisier, 2007, 2, 12, pp.97-119. hal-01566858

HAL Id: hal-01566858

<https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01566858>

Submitted on 17 Oct 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.

Bases de données et Métadonnées Spatiotemporelles temps-réel

Claudia Gutiérrez, Sylvie Servigne

LIRIS, INSA Lyon

Bat. B. Pascal, 20 av. A. Einstein 69622 Villeurbanne Cedex

e-mail: {claudia-catalina.gutierrez-rodriguez; Sylvie.Servigne@insa-lyon.fr}

RÉSUMÉ. Les métadonnées géographiques sont aujourd’hui définies selon des normes ISO et ont pour vocation de faciliter l’échange des données entre utilisateurs différents et également de renseigner sur la qualité des données. Toutefois, ces métadonnées sont définies pour des données statiques exploitées par des applications traditionnelles. Ces métadonnées ne prennent pas notamment en compte la qualification de données dynamiques issues de capteurs, comme des mesures temps réel exploitées dans des applications ‘en ligne. D’ailleurs, les réseaux de capteurs liés à des bases de données sont de plus en plus utilisés dans de nombreux domaines comme pour la surveillance environnementale ou industrielle. La gestion temps réel des données spatio-temporelles issues de ces capteurs nécessite une définition des métadonnées en temps réel notamment pour l’évaluation de la qualité dans un contexte d’aide à la décision en situation critique. L’objectif de l’article est donc de présenter la problématique et une analyse des métadonnées spatio-temporelles temps réel et ensuite d’apporter quelques éléments de solution.

ABSTRACT. Nowadays, the geographic metadata are defined by the ISO standards and they have in particular the aim of assisting the data exchange between different users and of providing data quality information. However, these quality criteria are defined for static data exploited by traditional applications. Such criteria do not take into consideration the qualification of dynamic data in particular resulting from mobile and agile objects or from real time measurements managed in “on-line” applications such as in industrial or natural phenomenon management. Moreover, the sensor networks linked to databases are more and more used in many fields, in particular in the disaster management systems. The real-time management of spatial-temporal data resulting from these sensors requires a definition of real-time metadata, especially for the quality assessment in a decision support context during a critical phase. The goal of the paper is to specify real time and spatio-temporal metadata and to present some solutions.

MOTS-CLÉS: Métadonnées, Temps Réel, Base de données capteur, Spatio-temporel.

KEYWORDS: Metadata, Real-time, Sensor Databases, Spatio-temporal.

1. Introduction

Les informations issues en temps réel de réseaux de capteurs sont de plus en plus utilisées dans les applications « en ligne » notamment pour la surveillance de milieux à risques qu'ils soient environnementaux, urbains ou industriels. Ces applications sont de plus en plus souvent mise en œuvre à l'aide de Systèmes d'Information Géographique qui offrent des capacités de localisation et d'analyse spatiale incontournables, particulièrement en phase critique, par exemple lors de la potentielle détection d'une éruption volcanique imminente. Dans ce contexte, les métadonnées, lors de la prise de décision par les utilisateurs, font partie intégrante du processus de décision en renseignant notamment sur la qualité des informations.

Les métadonnées géographiques sont aujourd'hui définies selon des normes ISO et leur principal objectif est de faciliter l'échange de données entre différents utilisateurs et de renseigner sur la qualité des données. Ces métadonnées sont définies pour des données statiques exploitées par des applications traditionnelles et ne prennent pas en compte la dynamique des données.

L'objectif de cet article est donc de présenter une analyse des métadonnées spatio-temporelles temps réel et également d'apporter quelques éléments de solution. Cet article est organisé en quatre parties. La première partie explicite la problématique des bases de données temps réel. La seconde partie offre un état de l'art qui concerne les concepts liés à notre problématique : les bases de données temps réel et les métadonnées notamment dans le domaine géographique. Ensuite, dans la Section 4, nous abordons les MDSTTR (Métadonnées Spatio-Temporelles Temps Réel), par la définition des données spatio-temporelles temps réel et leurs caractéristiques. Un modèle de données et une formalisation ont notamment été définis et sont présentés.

2. Problématique

Les réseaux de capteurs liés à des bases de données sont de plus en plus utilisés dans des domaines tels que la surveillance de phénomènes naturels, la navigation et la surveillance routière. Dans ce contexte, les métadonnées, et notamment les métadonnées qualité ajoutées aux informations elles-mêmes contribuent aux processus d'aide à la décision. Rappelons qu'une information de qualité ne représente pas forcément l'information la plus précise ou la plus détaillée, mais plutôt l'information dont la qualité répond aux besoins de l'utilisateur. Nous avons souvent tendance à confondre la notion de la qualité avec celle de l'excellence ou de la perfection (Azouzi et al., 1996).

2.1 Métadonnées et qualité

La gestion des risques et la surveillance de phénomènes naturels nécessitent actuellement de plus en plus d'informations en temps réel pour les différents acteurs

(organisations météorologiques, géologues, la société elle-même..). Cette information doit être complète, fiable, compréhensible, réutilisable, partageable et obtenue selon des contraintes de temps spécifiées (Brewer et al., 2002 ; Hodgkinson et al., 1991).

Dans le contexte de la surveillance temps réel des phénomènes naturels par exemple, les spécialistes (chimistes, physiciens, preneurs de décision, etc.) se focalisent sur les données les plus récentes, hormis les données caractéristiques des phases spécifiques d'activités critiques (e.g. activité volcanique : irruption) et souhaiteraient disposer d'informations complémentaires notamment de qualité sur les données acquises, afin de favoriser de meilleures prises de décision.

Bien entendu, les besoins des utilisateurs varient et dépendent des applications. Toutefois, dans de nombreux domaines d'application, où les réseaux de capteurs sont aujourd'hui exploités, on constate que la qualité est souvent restreinte à la qualité du système d'acquisition. En effet, l'objectif est souvent de détecter rapidement une panne matérielle et d'envoyer une alerte.

La gestion temps réel des données spatio-temporelles issues de capteurs nécessite donc une définition de la qualité des informations mesurées, voire de la propagation, de l'incertitude de l'information ainsi que la définition de moyens de communication de cette qualité. La difficulté est alors d'identifier les informations nécessaires et de permettre leur extraction et traitement en temps réel. Identifier les informations de qualité nécessite donc une analyse générale des métadonnées spatio-temporelles temps réel.

2.2 Réseaux de capteurs et acquisition temps réel

Le temps réel est un terme relatif. Généralement, ce terme exprime un mode de fonctionnement dans le processus d'acquisition et de traitement de données. Nous pouvons dire que le temps réel représente la disponibilité immédiate d'informations pour l'utilisateur. Le temps réel est indispensable pour les applications dynamiques qui ne peuvent être satisfaites en temps différé (systèmes de surveillance, autoroutes, navigation, etc.). Pourtant, un système temps réel est une application ou plus généralement un système pour lequel le respect des contraintes temporelles dans l'exécution des traitements est aussi important que le résultat de ces traitements (Ramamritham, 1993).

Dans les applications reposant sur une gestion temps réel d'informations issues de réseaux de capteurs, les capteurs présentent des caractéristiques différentes en fonction de leur type, (micro, macro, embarqué...) mode de fonctionnement (fréquence de transmission, nombre de mesures différentes effectuées) ou encore de leur taux de mobilité (fixe, agile, ou mobile). Un capteur fixe est implanté définitivement dans un lieu et effectue des mesures sur une localisation. La position d'un capteur mobile (embarqué sur un véhicule par exemple) varie de façon continue dans le temps et donc dans l'espace. Un capteur agile peut alors être défini comme un capteur « transportable » entre deux campagnes de mesures.

En raison de leurs capacités de calcul, de stockage et de transmission réduite, les problèmes de localisation et de mise à jour des données en temps réel ne sont pas à négliger. Pour les réseaux se composant de micro-capteurs, la transmission de données en continu est généralement irréalisable, pour des considérations de coût de transmission. Diverses études tendent à montrer à ce sujet que l'agrégation locale des données avant transfert est généralement plus économique, malgré les faibles ressources disponibles au niveau des capteurs (Intanagonwiwat et al., 2001 ; Ratnasamy et al., 2002). Cependant, se pose alors le problème de la validité des mesures disponibles, puisque l'utilisation d'agrégats sous-entend un décalage temporel entre le moment de collecte de l'information et celui où celle-ci sera disponible pour les utilisateurs.

Dans le cadre de la surveillance de phénomènes naturels, l'utilisation de réseaux de capteurs permet d'obtenir des données sur le système étudié et ce malgré un environnement parfois difficile (météorologie difficile, risque d'éboulements,...). Dans ces conditions, le risque de panne d'un capteur est un élément à prendre en compte, tout particulièrement lorsqu'on espère obtenir des données lors de situations de crise. Par conséquent il n'est pas recommandé de conserver les données au niveau des capteurs eux-mêmes. Au contraire il est généralement conseillé de conserver les données dans une base, externe au réseau et située dans un environnement sécurisé. Toutes ces caractéristiques sont à considérer pour la gestion des métadonnées en temps réel.

Une fois les mesures effectuées par les capteurs (Figure 1), le problème de stockage se pose. L'immense majorité des réseaux de capteurs utilisés envoient les données vers une base de données en mémoire vive, qui sont ensuite sauvegardées dans un SGBD, avant d'être transférées vers un entrepôt de données pour des analyses a posteriori. L'analyse de ces données collectées par les capteurs est alors réalisée en exploitant les données les plus récentes, et il est parfois nécessaire de consulter ces données dans des délais impartis.

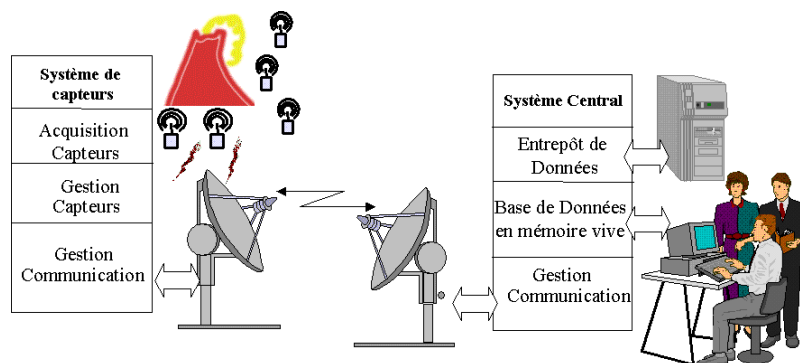


Figure 1. Exemple de réseau de capteurs et système central
(Servigne et al., 2006b)

Disposer d'informations complémentaires notamment sur la qualité des données reçues représente un intérêt important pour les utilisateurs. Par conséquent, la gestion temps réel des données liées à des capteurs et à fréquences variables de flux d'information, destinées à être stockées en temps réel dans une base de données voire à enrichir des métadonnées, est un point très important. Cette problématique suscite alors plusieurs questions et notamment : quelles sont les informations nécessaires à prendre en compte dans les métadonnées de données spatio-temporelles temps réel ? Quelles sont celles contribuant à définir la qualité des données ? Les métadonnées étant généralement définies pour un lot de données statiques à une date définie, comment identifier les métadonnées de données temps réel donc dynamiques ? En effet, les utilisateurs se trouvent aujourd'hui confrontés aux problèmes suivant : comment différencier données et métadonnées dans un contexte dynamique et temps réel ? Quelles sont, alors, les informations qui relèvent des données et celles relevant des métadonnées ? Comment générer, voire extraire puis communiquer ces métadonnées à l'utilisateur ? Avec quelle périodicité ?

Dans la suite de l'article, nous n'avons pas la prétention de répondre à l'ensemble des questions soulevées. Néanmoins, nous présentons une analyse qui permet de définir la problématique et de formaliser quelques éléments de réponses aux verrous scientifiques sous-jacents.

3. Etat de l'art : Métadonnées

Chaque système possède des paramètres et des caractéristiques selon son contexte qui décrivent l'information complémentaire aux données dont l'utilisateur a besoin. Cette information est définie par des métadonnées. Les données temps réel étant spatio-temporelles (définies dans le temps et l'espace), nous étudions dans un premier temps les travaux existants sur les métadonnées géographiques qui ont abouti à la définition de normes ISO.

3.1 Métadonnées géographiques

Les métadonnées sont « des données sur des données ». Les métadonnées décrivent le contenu, la qualité ainsi que d'autres caractéristiques des données (FGDC, 2000 ; ADAE, 2005). Par exemple, concernant les métadonnées géographiques, nous pouvons mentionner : la description générale, la description et nature des données, le système de projection, l'étendue géographique, l'organisme producteur, la qualité des données, etc. La qualité des données se décline elle-même suivant différents critères (Servigne et al., 2006) comme la date de saisie ou de validité, la précision de la saisie, etc. L'ensemble de ces informations contenues dans les métadonnées, doit pouvoir être facilement accessible et partageable par tous les acteurs quelque soit son niveau au sein de l'organisation.

Nous distinguons, dans certains travaux sur les systèmes d'information, trois types généraux de métadonnées : les métadonnées pour la découverte, les métadonnées pour le catalogage et les métadonnées pour l'exploitation (CNIG, 2002 ; CNIG, 2003 ; Guide, 2005):

Métadonnées pour la découverte : Les métadonnées pour la découverte offrent le minimum d'information suffisante pour permettre à un acteur d'identifier les jeux de données sur l'échange afin d'extraire ceux qui correspondent éventuellement à ses besoins.

Métadonnées pour le catalogage : Les métadonnées pour le catalogage renseignent, avec plus de précision, sur les jeux de données et permettent ainsi de servir de spécification.

Métadonnées pour l'exploitation : Les métadonnées pour l'exploitation accompagnent le jeu de données livré. Ces métadonnées servent essentiellement à configurer l'interface du système d'information d'accueil en fonction des caractéristiques du jeu de données livré et contient les informations sémantiques sur la donnée. Elles incluent les informations relevant des deux autres niveaux de métadonnées ainsi que les limites d'utilisation.

Ces classifications facilitent l'accès aux données, mais par contre chaque domaine d'application crée généralement diverses classifications des métadonnées selon son contenu et son usage.

Parallèlement aux classifications, les métadonnées sont aussi décrites selon des normes internationales. Comme nous l'avons mentionné précédemment la norme ISO 19115 (ISO19115, 2006), est la référence internationale concernant l'échange de métadonnées pour l'information géographique (Barde et al., 2003). Cette norme permet de créer différents modèles. Chaque modèle est créé, avec un point de vue différent, à partir d'éléments standards ou obligatoires selon la norme et d'autres éléments propres à l'application.

Généralement, les éléments d'un modèle n'ont pas la même valeur en termes de priorité et de sémantique. Pour faciliter l'accès à l'information, les éléments de la norme ont été regroupés en 4 groupes :

- Thématique (Quoi)
- Spatial (Quand)
- Temporel (Où)
- Contact (Qui)

La norme ISO19115 fournit une structure pour la description des données géographiques numériques sous la forme d'un modèle conceptuel de métadonnées. Le modèle de métadonnées doit permettre une description, si possible, exhaustive de toutes les informations concernant les données géographiques, cas particuliers y compris. Les éléments des métadonnées y sont définis avec leur type, les relations qui les unissent et les conditions associées. Les différentes métadonnées sont réparties en « package » dans le cadre d'une première subdivision thématique. (figure 2) (Taouss, 2003).

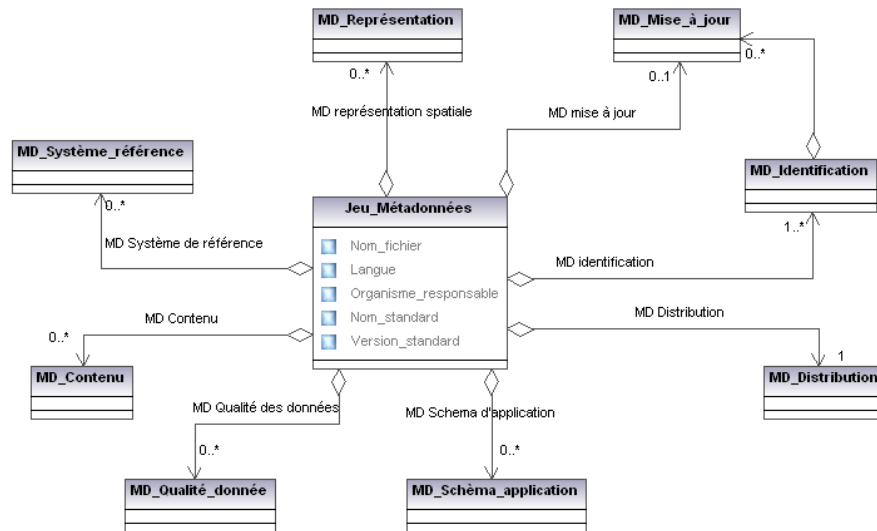


Figure 2. Diagramme de classes de métadonnées Géographiques. Norme ISO19115

- **Jeu de métadonnées** : Jeu de métadonnées comprenant des informations d'identification importantes et étant en relation (agrégation) avec les autres classes principales.
- **Identification** : Ce sont des informations permettant d'identifier les données décrites par les métadonnées, telles que les indications relatives à son étendue spatiale et temporelle sans la moindre ambiguïté.
Exemples: description des données, titre, étendue spatiale (zone), étendue temporelle.
- **Qualité des données** : Informations concernant la qualité et la provenance des données.
Exemples : origine (e.g. numérisation de la carte nationale au 1:25000).
- **Mise à jour** : Fréquence et champ d'application des actualisations.
Exemples : date de la prochaine mise à jour prévue, champ d'application de la mise à jour.
- **Représentation spatiale** : Données de type vecteur, raster, etc.
Exemples : pour les données de type vecteur : type de géométrie, topologie (e.g. points, réseau linéaire, réseau surfacique).
- **Système de référence** : Information sur le système géodésique de référence.
Exemples : Lambert93.

- **Contenu** : Description du contenu du jeu de données. Renvoi au catalogue des objets, au modèle de données ou à la description des données. Le contenu de ces catalogues ne fait toutefois pas partie des métadonnées.
- **Distribution** : Informations concernant le fournisseur distributeur des données peuvent obtenues, de même que leurs formats et le support de transfert numérique.
- **Schéma d'application** : Description du logiciel d'application utilisé pour la génération des données.

Les composantes métadonnées présentées ci-dessus sont fournies par les producteurs de données lors de la livraison de lots de données, et sont censées répondre également aux besoins généraux de l'utilisateur. Toutefois, à l'heure actuelle, les utilisateurs se retrouvent parfois à être confrontés au problème suivant : le nombre élevé d'informations à gérer et à mettre à jour dans les métadonnées géographiques devient une tâche importante voire aussi lourde que la gestion des données auxquelles ces métadonnées se rapportent. Ce constat n'est pas envisageable dans un contexte temps-réel, le temps d'accès à l'information étant critique notamment dans le domaine de la surveillance de phénomènes naturels.

3.2 Qualité des données géographiques

La qualité des données est un domaine actif dans la recherche sur les systèmes d'information géographique et s'est développée en raison de l'augmentation des échanges de données (Goodchild, 1995 ; Veregin, 1999).

Une information de qualité ne représente pas forcément l'information la plus précise ou la plus détaillée, mais plutôt l'information dont la qualité est en adéquation avec les besoins de l'utilisateur. Cette information qualité a pour objectif de permettre d'assurer la prise de décision par les utilisateurs ainsi que la qualité du système.

La qualité des données spatiales est aujourd'hui exprimée en fonction de : « fitness for use /adéquation aux besoins » (Veregin, 1999). La qualité est définie par l'ISO 8402 (ISO8402, 1994) comme "l'ensemble des propriétés et caractéristiques d'un produit ou d'un service qui lui confère l'aptitude à satisfaire des besoins exprimés ou implicites". Ceci signifie que pour définir la qualité des données, il est nécessaire de disposer d'informations sur les données utilisées et sur les besoins des utilisateurs. Ces informations qualité sont généralement stockées dans des métadonnées. Elles permettent de documenter plus précisément les données afin de faciliter leur partage et leur diffusion.

La diversité des types de données dans les systèmes d'information ainsi que la multiplicité des sources de données et des acteurs rendent l'information sur la qualité de données utile, voire nécessaire lors de tout échange de données, car les informations supplémentaires permettront à l'utilisateur d'exploiter les données reçues de façon optimale.

3.2.1 Généralités

La qualité des données est essentielle. Elle doit assurer la fiabilité des processus s'appuyant sur les informations.

L'information spatiale est beaucoup plus qu'un ensemble de mesures et de coordonnées et la qualité représente beaucoup plus que leur précision et leur fiabilité. Les éléments composant la qualité ne sont pas tous des métriques quantifiables, ou la propagation des éléments non quantifiables est encore mal connue (Servigne et al., 2005).

La précision et la fiabilité sont des éléments de qualité qui ont été appliqués aux réseaux géodésiques depuis longtemps. Depuis plusieurs années, différentes études ont porté sur l'extension de la notion de qualité à l'ensemble des données dans une BDG (Base de Données Géographique), principalement sur la définition des différentes composantes et critères de la qualité des données.

Les critères qualité des données géographiques correspondent à deux expressions, l'expression qualitative de la qualité (précision spatiale...) appelés aussi également « paramètres qualité » et l'expression qualitative de la qualité (critères qualitatifs – « truth in labelling »), comme la généalogie (Servigne et al., 2006). Ils ont comme objectif de « fournir à un utilisateur des informations précises qui lui permettent d'évaluer la pertinence des données pour l'usage envisagé » (Moeleering, 1987).

En 1987, le NCDCDS - National Committee on Digital Cartographic Data Standards (Moeleering, 1987), commence la définition de cinq critères (un qualitatif et quatre quantitatifs) permettant de décrire la qualité des données spatiales: **la généalogie, la précision géométrique ou précision de position, la précision sémantique ou précision des attributs, l'exhaustivité ou la complétude**, et enfin **la cohérence logique**.

La « Commission sur la qualité des données spatiales » de l'International Cartographic Association (ICA) (Guptill et al., 1995) ajoute aux cinq éléments de qualité définis par le NCDCDS deux nouveaux paramètres : **la cohérence sémantique et la précision temporelle**. En 1997, l'IGN dans (David, 1997) introduit la **qualité spécifique** afin de pallier les manques potentiels non couverts par les critères précédents.

Les critères ou paramètres définis se sont imposés comme une base et ont été repris dans de nombreux travaux de standardisation SDTS - Spatial Data Transfer Standard (STDS, 1992), FGDC - Federal Geographic Data Committee (FGDC, 1998), ISO - Organisation Internationale de Normalisation (ISO9000, 2000), CEN-Comité Européen de Normalisation (CEN, 1998).

3.2.2 Critères de qualité (cf. (Servigne et al., 2005) pour plus de détails)

Généalogie. Elle identifie les informations primordiales afin de reconstituer l'histoire d'un jeu de données et d'en déduire son exploitation potentielle (méthodes

et outils de traitement pour un besoin particulier) (Clarke et al., 1995). Elle décrit entre autres : la source de données, des informations sur l'acquisition ou encore les transformations ou analyses exécutées.

Précision géométrique (ou précision de position, précision spatiale, exactitude spatiale). Elle définit les écarts de valeurs de position respective entre les données de la base de données et le terrain nominal. Elle dépend directement des moyens d'acquisition et de traitement des mesures.

Précision sémantique (ou précision des attributs) (non spatiaux). La précision sémantique est définie comme la différence entre une mesure et une autre mesure comparable et connue pour être plus exacte. Elle demande également la connaissance de données plus justes, à savoir le terrain nominal.

Exhaustivité ou complétude. « L'exhaustivité est un attribut qui décrit les relations entre les objets représentés dans l'ensemble des données et une abstraction de l'ensemble des objets du monde réel » (Moeleering, 1987).

L'exhaustivité s'évalue suivant les omissions et commissions existantes entre le terrain nominal (abstraction de l'ensemble des objets du monde réel) et le jeu de données évalué.

Cohérence logique. La cohérence logique se rapporte à toutes les règles logiques sur les structures et les attributs des données spatiales, et décrit la compatibilité d'un élément du jeu de données avec les autres (Servigne et al., 2005).

Aussi, nous considérerons qu'un ensemble de données est dit cohérent de façon logique s'il respecte les caractéristiques structurelles du modèle de données choisi, et s'il est compatible avec les contraintes définies pour l'ensemble des données.

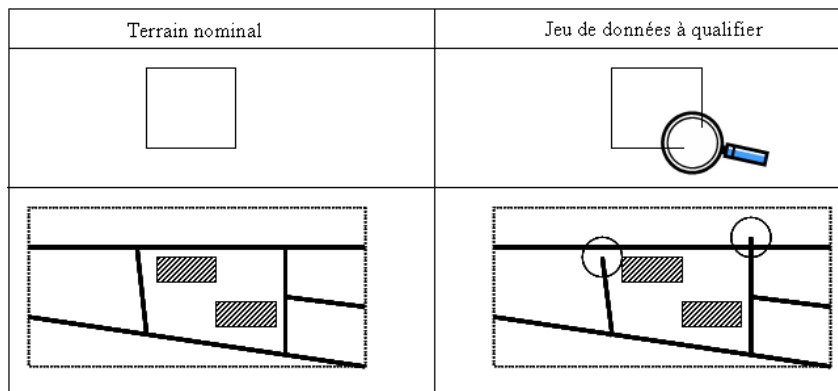


Figure 3. Exemple de cohérence logique : vérification de la fermeture de contour de polygone, vérification des relations topologiques de jointure (Servigne et al., 2005).

Cohérence sémantique. La cohérence sémantique décrit la qualité avec laquelle les objets géographiques sont décrits par rapport au modèle utilisé. Cet aspect concerne la pertinence de la signification des objets géographiques ainsi que leur représentation (Salge, 1995).

Cohérence temporelle. La cohérence temporelle renseigne sur la gestion des dates d'observation des données, de types de mise à jour et des périodes de validité. L'aspect temporel est très variable (Puricelli, 2000), en fonction du type de phénomène observé et de la précision avec laquelle sont mesurés ces phénomènes.

Les différents critères décrits auparavant, sont définis selon les aspects spatiaux qui permettent d'évaluer la pertinence des données au contexte géographique. A ces critères correspondent différents indicateurs (méthodes d'évaluation des critères) déterminés en fonction du type d'application visée. Par contre, ces critères ne prennent pas en compte les aspects liés au temps réel et à la dynamique des données. Cependant, il est important pour l'évaluation de la qualité des données spatio-temporelles temps réel, d'établir une liste des critères déterminants pour la qualité en temps réel en exploitant les critères préalablement identifiés pour la qualité des données géographiques.

3.3 Métadonnées spatio-temporelles temps réel

L'exploitation des données en temps réel se traduit par une disponibilité immédiate d'informations pour l'utilisateur. Actuellement, il existe peu de travaux et aucun standard et sur la modélisation et l'exploitation de Métadonnées Temps Réel.

Toutefois, dans ce contexte, nous avons identifié quelques travaux de recherche portant principalement sur l'analyse d'informations océaniques ou maritimes (Charpentier, 2005 ; TAO, 2006 ; PIRATA, 2006 ; MMI, 2006). Si l'objectif premier de ces travaux ne concerne pas les métadonnées, le problème des métadonnées temps réel est soulevé et l'importance de développer des standards de métadonnées est clairement identifiée.

Plus spécifiquement, des besoins ont été recensés concernant : le développement d'un format commun et standardisé des métadonnées, la définition de protocoles et procédures pour l'échange approprié de rapports de métadonnées et également l'identification d'un ou de plusieurs centres d'observation pouvant accueillir une base de données consacrée aux métadonnées. Cette base de données nécessite que le stockage de l'information soit centralisé et que cette information soit disponible aux utilisateurs en temps réel. La difficulté majeure, principalement en raison de la grande quantité d'informations à traiter, est alors de réaliser une transmission et une documentation des métadonnées en temps réel.

3.4 Synthèse de l'état de l'art

Dans un contexte temps réel, le problème principal est la grande quantité d'informations à gérer, à transmettre et à communiquer à l'utilisateur avec des contraintes temporelles. Ce problème rend la tâche de gestion de ressources en temps réel plus difficile. Telle gestion sera limitée en raison de la capacité de stockage et de l'énergie des capteurs. Dans de telles situations, la panne de capteur ou la présence de mauvaises situations environnementales peut être un danger pour l'intégrité de l'information. Il est ainsi nécessaire de conserver les données dans des bases de données centralisées pour satisfaire toutes les conditions.

L'utilisation des métadonnées dans un contexte temps réel requiert une classification de métadonnées spécifiques pour chaque domaine afin de se limiter aux métadonnées indispensables selon le contexte d'utilisation. Ces métadonnées doivent contenir des informations pertinentes qui permettront d'identifier et de mieux exploiter le système.

Les normes de métadonnées géographiques (Servigne et al., 2005 ; Servigne et al., 2006) comme l'ISO 19115 ou 19116 offrent des réponses pour la structuration de métadonnées notamment concernant la qualité. Toutefois ces normes ne prennent pas en compte la dynamique des données voire des métadonnées.

Enfin, quelques travaux initiés dans le domaine océaniques (MMI, 2006 ; Charpentier, 2005 ; PIRATA, 2006) ont mis en évidence l'importance d'une étude des métadonnées spatio-temporelles temps réel dont le premier objectif doit être d'établir une définition des métadonnées dans un contexte temps réel.

Une spécification des métadonnées spatio-temporelles temps réel en général est donc indispensable avant d'établir les métadonnées spécifiques à l'évaluation de la qualité spatio-temporelles temps réel.

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 travail, 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).

Nous présentons une analyse des métadonnées spatio-temporelles suivant plusieurs dimensions. Le contexte temps réel a d'abord conduit à la distinction de deux niveaux de métadonnées : les **métadonnées génériques** et les **métadonnées applicatives**.

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.. Nous proposons ainsi dans la section 4.2, un **modèle des données STTR** (Spatio-Temporelles Temps Réel) qui servira de support à

l'identification des informations relevant des données ou des métadonnées. 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 dynamique des données.

Suite à cette identification, nous proposons dans la section 4.3, une classification des métadonnées en **métadonnées statiques** et **métadonnées dynamiques**. Ces catégories correspondent à la caractéristique de dynamique des données qui peut être transmise aux métadonnées selon le contexte d'exploitation des données.

Nous observons de plus que les données Spatio-Temporelles (ST) dans le contexte Temps Réel subissent généralement différents processus dans un système d'information temps réel. L'impact de ces processus sur les données et notamment sur la qualité de ces données n'est pas anodin. Dans la section 4.4., nous distinguons parmi ces processus : l'acquisition en temps réel, la transformation ou traitement des données en temps réel et leur exploitation en temps réel. Nous considérons que chacun de ces processus est susceptible d'agir sur les propriétés des données, notamment sur leur qualité. Il nous paraît donc important de définir des **métadonnées de traitement** permettant d'offrir des informations correspondant à ces processus.

Finalement, dans la section 4.5, nous analysons un aspect important concernant l'extraction des métadonnées et l'exploitation des métadonnées dans un contexte temps réel. L'objectif d'utiliser les métadonnées, comme nous l'avons mentionné, 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 distinguons **l'extraction automatique de l'extraction à la demande de l'utilisateur**.

4.1 Métadonnées : génériques et applicatives

Une des difficultés précédemment soulevées concerne la masse d'informations à gérer dans les métadonnées, difficulté qui devient cruciale dans un contexte temps réel. Il apparaît donc nécessaire de définir une classification des métadonnées afin d'établir les métadonnées génériques qui se révèlent indispensables et qui constitueront un socle commun à l'ensemble des applications temps réel. Les autres métadonnées applicatives, plus spécifiques ou épisodiques, pourront alors être traitées au fil de l'eau.

Nous pouvons apprécier deux niveaux d'information : le niveau générique ou commun, qui décrit les aspects de l'information commune aux applications et le niveau spécifique, qui décrit les aspects de l'information spécialisés selon le type d'application.

Dans un contexte temps réel, nous proposons de définir un groupe de métadonnées pour chacun de ces niveaux :

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** décrivent l'information particulière de chaque système, par rapport au type d'application et à ses caractéristiques. Ces métadonnées sont optionnelles et peuvent être ajoutées selon les besoins de l'utilisateur.

Cette classification est réalisée en considérant le niveau d'accès aux données de l'utilisateur et avec l'objectif d'optimiser temps et ressources du système.

4.2 Métadonnées et données spatio-temporelles temps réel

Un des enjeux de l'étude des métadonnées spatio-temporelles temps réel est de distinguer les informations qui relèvent des données de celles relevant des métadonnées. En effet, la dimension temps complique l'analyse des informations.

Afin de mieux comprendre les différentes caractéristiques des données spatio-temporelles temps réel, nous proposons un modèle des données qui a pour objectifs :

- d'évaluer les relations entre les données ST et le contexte TR,
- de faciliter l'identification des informations qui relèvent des données de celles qui relèvent des métadonnées,
- de servir de support à l'élaboration de règles d'identification des métadonnées en fonction de l'évolution des données et de leur contexte d'application.

4.2.1 Modélisation des données spatio-temporelles temps réel

Dans ce modèle de données (Figure 4), à la différence des modèles existants, nous présentons la structuration des données spatio-temporelles temps réel ainsi que l'interaction des caractéristiques statiques et dynamiques.

Les données collectées par un capteur sont référencées selon ce capteur, sa position et la date de sa collecte. Dans les applications actuelles (NOAA, 2006 ; PIRATA, 2006 ; Servigne et al. 2006b), les réseaux de capteurs sont situés dans un même milieu d'observation, et offrent la possibilité d'obtenir des données à différentes positions (capteurs mobiles et agiles). Plusieurs mesures peuvent être réalisées par un même capteur (exemple du capteur RDI : ce capteur intègre simultanément : un capteur de pression, un compas magnétique, un capteur roulis/tangage et un capteur de température).

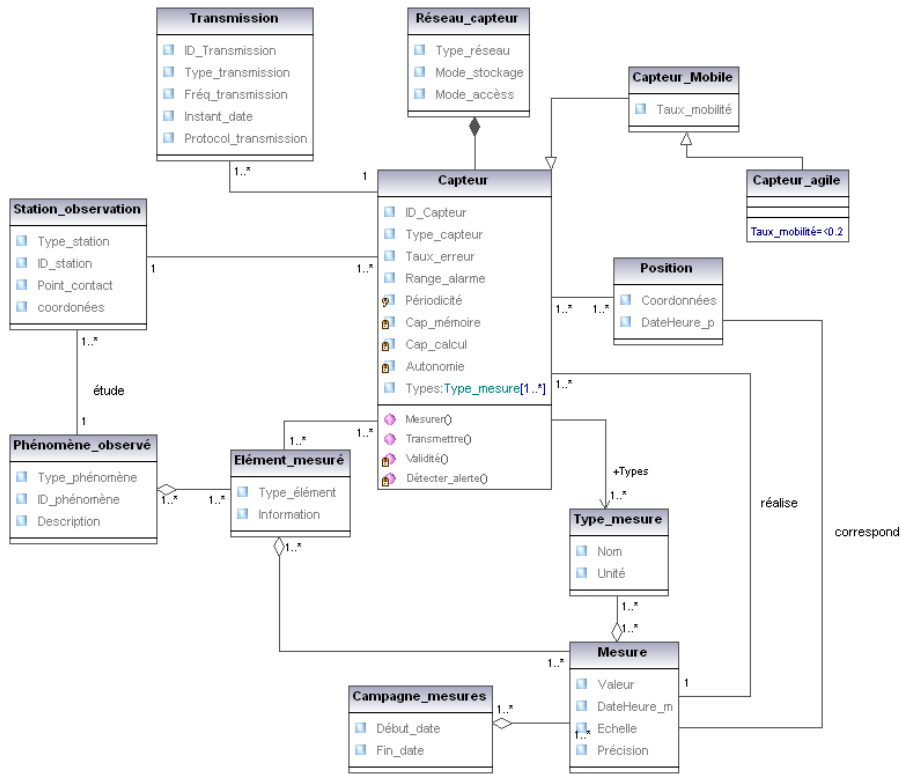


Figure 4. Modèle de données spatio-temporelle temps réel

Dans un environnement de surveillance par exemple, il existe plusieurs stations d'observation (Stations météorologiques, maritimes, etc.) qui sont chargées de surveiller différents phénomènes autour de la terre (Volcans, Tsunamis, Séismes, Pollution, etc.). Ces différents phénomènes sont analysés à partir d'un ou de divers éléments mesurés. (e.g. Température, Pression, Niveau de CO₂, etc.) qui font l'objet de campagnes de mesures pendant des intervalles de temps déterminés.

Dans ce modèle, nous mettons en évidence principalement les aspects statiques et dynamiques du système d'acquisition ainsi que leurs relations. Nous précisons tout d'abord les concepts statique et dynamique par rapport à l'utilisateur final. Dans le contexte de la surveillance, par exemple, après avoir déterminé les phénomènes à observer ainsi que les éléments à mesurer pour surveiller l'évolution des phénomènes, des campagnes de mesures décidées puis lancées. Les objets dynamiques lors de ces campagnes de mesures concernent alors les objets changeant de valeur, de forme ou de position dans le temps ou/et l'espace.

- **Objets statiques :** Station d'observation, Phénomène observé,

Elément mesuré, Campagnes de mesures. Capteur Fixe,
- **Objets dynamiques** : Position, Mesure, Capteur Agile, Capteur
Mobile

4.2.2 MDSTTR ou données ?

A partir de ce modèle et de son analyse (Section 4.1), nous poursuivons l'étude des métadonnées afin de définir des règles d'identification qui permettant de distinguer les données des métadonnées. Nous considérons, à partir de notre étude, qu'il existe deux aspects à prendre à considération : la grande **dynamicité** des données et la **sémantique** des données.

La sémantique d'une donnée est notamment caractérisée selon son exploitation par un utilisateur final. Selon l'application ou le domaine d'application, une donnée caractérise ou non un phénomène étudié. L'utilisateur final, en décrivant l'objectif et le contexte de son application, peut ainsi permettre d'identifier les informations relevant des données de celles relevant des métadonnées. La difficulté est alors de réussir à différencier les objectifs d'une application et des données nécessaires, du contexte d'acquisition et l'exploitation de ces données qui doit être décrit par les métadonnées.

La dynamicité et la sémantique des données sont très liées dans un contexte temps réel. La dynamicité induit une considérable variation de valeurs dans le temps. Prenons comme exemple la mobilité d'un capteur. Si la position d'un capteur varie constamment, ce qui est généralement le cas d'un capteur mobile embarqué, cette information sera inévitablement considérée comme une donnée. En effet, la localisation est une mesure et fait partie intégrante des éléments mesurés au même titre que les autres éléments mesurés par le capteur. Par contre, dans le cas d'un capteur fixe, la position est une information stable. Elle peut être considérée comme une donnée complémentaire sur les mesures effectuées par le capteur. La position peut alors être étiquetée comme métadonnée.

Nous pouvons donc en déduire qu'une information acquise en temps réel et à forte dynamicité (fréquence de modification ou de transmission élevée) est ainsi une donnée et ne peut être considérée comme une métadonnée. La dynamicité et également le contexte d'utilisation d'une information conditionnent notamment la caractérisation d'une information comme donnée ou métadonnée.

4.3 Métadonnées statiques et métadonnées dynamiques : définition

Nous considérons dans notre modèle de données, en relation avec les spécificités spatio-temporelles et temps réel déjà abordées, l'importance d'exposer la constante évolution des valeurs de certaines informations. Certaines données peuvent faire évoluer le contenu des métadonnées.

Nous proposons d'abord deux types de métadonnées qui peuvent aider à mieux traiter les métadonnées spatio-temporelles temps réel : **les métadonnées statiques**

et **les métadonnées dynamiques**. Cette classification de métadonnées est réalisée selon l'évolution des données dans le temps.

Les métadonnées statiques concernent les métadonnées que nous trouvons dans des applications traditionnelles comme dans le domaine géographique. Elles décrivent des lots de données et n'évoluent pas régulièrement durant le développement de l'application, par exemple : l'identification du projet, les coordonnées de la station d'opérations, etc. Dans le contexte temps réel, une métadonnée peut être caractérisée comme statique lorsque sa valeur n'évolue pas au cours d'une campagne de mesures.

Rappelons qu'une information à forte dynamique (dont certains de ces attributs varient beaucoup dans le temps) ne peut être considérée comme une métadonnée. Toute la difficulté est alors de donner une définition de « forte dynamique ». Une métadonnée peut-elle alors être elle-même dynamique ?

Nous estimons qu'une métadonnée de données spatio-temporelle temps réel peut être dynamique. Nous considérons que l'information qui contribue à renseigner une métadonnée dynamique, ne fait pas bien sûr partie de la campagne de mesures, mais la valeur de cette métadonnée est susceptible d'évoluer ponctuellement au cours du temps et notamment durant une campagne de mesure. Comme nous l'avons évoqué dans le paragraphe précédent, les métadonnées permettent notamment de décrire le contexte d'acquisition et d'exploitation des données. Dans des applications temps réel, **le contexte étant dynamique**, des métadonnées peuvent donc être dynamiques.

Par exemple, la qualité des données peut être affectée au cours de la transmission temps réel car elle dépend notamment de la qualité de transmission, du contexte de l'acquisition... etc qui sont des éléments stockés dans les métadonnées.

Un autre exemple concerne la position d'un capteur, comme précédemment évoquée. Si ce capteur est fixe, la position du capteur peut être considérée comme une métadonnée statique. Si le capteur est mobile, la position est une donnée et non une métadonnée. Enfin, si le capteur est agile, la position du capteur peut être considérée comme une donnée ou encore comme une métadonnée dynamique selon le contexte d'exploitation et la fréquence de ses changements.

4.4 Métadonnées : données et traitements

Divers processus sont mis en œuvre dans des applications temps réel. Nous distinguons, au sein de ces processus, l'acquisition en temps réel, la transformation ou traitement des données en temps réel et leur utilisation en temps réel. Chaque processus a un impact sur les données traitées et peut donc fournir des informations utiles à stocker dans des métadonnées. ..

Ces métadonnées permettent alors de faire connaître le statut des données après chaque traitement subi par des données. Les métadonnées sont, par ailleurs, déterminées principalement par le type d'application et par les caractéristiques de

Il l'acquisition, du traitement des données et de l'exploitation dans un contexte temps réel.

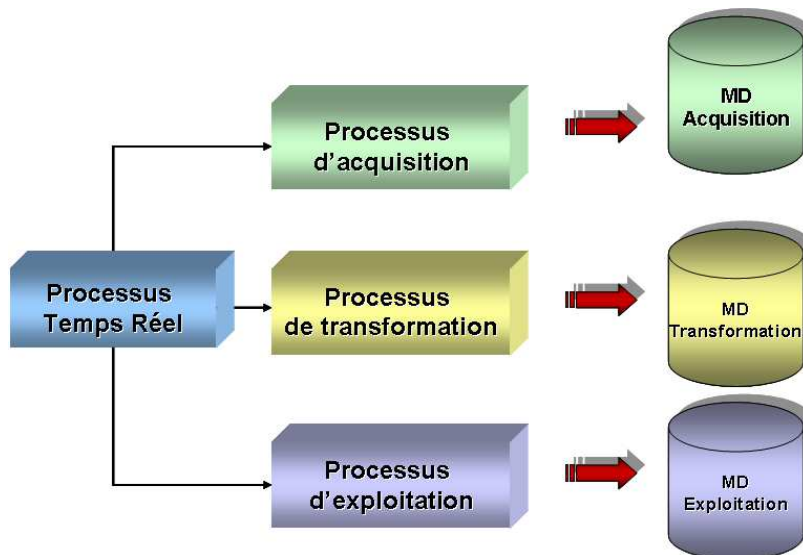


Figure 5. Classification de métadonnées et processus de traitement

4.5 Métadonnées Spatio-temporelles Temps Réel : extraction et exploitation.

Les métadonnées sont actuellement utilisées afin de réaliser une meilleure gestion des données concernées et également pour archiver une information estimée pertinente. Dans un contexte temps réel, la pertinence de l'information est très relative en raison notamment l'évolution continue des valeurs et également de la diversité des applications et des besoins. Pourtant différentes questions liées au contexte temps réel se posent : quelles sont les métadonnées pertinentes pour l'utilisateur ? Comment extraire ces métadonnées ? Quel est le mode d'extraction approprié ? Comment faire connaître ces métadonnées ? Comment les exploiter ? Etc. Nous proposons quelques éléments de réponse à ces questions.

4.5.1 Extraction des Métadonnées Spatio-temporelles Temps Réel.

La problématique est d'extraire de l'information en temps réel à partir de multiples sources disponibles et de l'organiser afin de permettre une exploitation optimale des MDSTTR par l'utilisateur. Comme nous l'avons auparavant décrit, les métadonnées spatio-temporelles temps réel (MDSTTR) doivent tenir compte de la dynamique de l'information, des particularités des cas d'application ainsi que des besoins des utilisateurs.

Nous identifions ainsi deux modes d'extraction des MDSTTR : l'extraction automatique ou l'extraction à la demande (utilisateur). En effet, les métadonnées sont généralement utilisées dans deux cas principaux : pour accéder à de

l'information ciblée en réponse à des requêtes ponctuelles des utilisateurs (à la demande) ou pour fournir des informations spécifiées au préalable (automatique).

L'extraction automatique. L'extraction des métadonnées spatio-temporelles temps réel automatiquement nécessite l'évaluation des spécificités de l'extraction automatique et des caractéristiques des métadonnées temps réel.

Nous avons précédemment présenté deux classifications des métadonnées suivant deux dimensions : métadonnées génériques vs applicatives et métadonnées statiques vs dynamiques.

L'extraction automatique de métadonnées statiques semble pertinente et réalisable ; cette extraction étant réalisée une seule fois à chaque campagne de mesures.

L'extraction automatique de métadonnées dynamiques n'est pas elle-même automatique et devra être décidée en fonction du contexte de l'application. En effet, il est nécessaire de prendre en considération le nombre de métadonnées à renseigner, la fréquence d'extraction, et la capacité de traitement (ressources du système) des informations données et métadonnées.

Au regard de la classification des métadonnées : génériques ou applicatives, il semble pertinent de considérer que les métadonnées génériques devraient être extraites automatiquement. Alors que les métadonnées applicatives seront extraites à la demande.

En résumé, nous considérons que l'information extraite de façon automatique dans un contexte temps réel, doit se limiter à une information indispensable au fonctionnement du système.

L'extraction à la demande de l'utilisateur. L'extraction à la demande permet à l'utilisateur d'interagir avec les éléments disponibles et de déterminer l'information qu'il considère pertinente pour les métadonnées dans une situation donnée.

L'extraction de métadonnées à la demande doit demeurer ponctuelle et contextuelle. Il s'agit alors de disposer d'information complémentaires lors de phases critiques ou de conditions exceptionnelles par exemple.

4.5.2 *Exploitation des Métadonnées Spatio-temporelles Temps Réel.*

Dans le domaine spatial, il existe différents services qui sont mis à disposition en temps différé mais aussi en temps réel (NOAA, 2006 ; TAO, 2006). Les applications de transport (fluvial), d'exploitation des ressources (protection de ressources pétrolières), d'aménagement du territoire (gestion de constructions, topographie, prévention de risques), de la terre (cartographie, météorologie) et de sécurité civile (catastrophes, gestion de transports dangereux), sont des exemples actuels. Le facteur temps dans l'exploitation de l'information est déterminant dans ces applications.

Pour des applications critiques, la nécessité d'une réponse rapide du système aux interrogations des utilisateurs est importante, mais l'absence de toute information peut générer des effets irrévocables. Par contre, dans les applications en temps différé, l'utilisateur dispose de plus de temps pour récupérer les données mesurées selon son intérêt et pour réaliser des "post-traitement" sur ces données.

L'exploitation en temps réel est requise pour les applications de surveillance et de gestion de crise (interruption du cycle de vie ou de fonctionnement du phénomène observé et basculement dans un état critique et souvent évolutif). L'utilisateur cherche, généralement dans l'exploitation temps réel, la disponibilité « immédiate » de l'information. Ceci signifie que le traitement, le filtrage et la vérification des données sont généralement réalisés par les mêmes capteurs ou au moins par les stations de traitement. Bien entendu, l'exploitation en temps réel entraîne souvent des sacrifices ou des choix à arbitrer sur les aspects qualité, précision et exactitude de l'information.

5. Conclusion

L'objectif de cet article était de présenter la problématique des métadonnées spatio-temporelles dans un contexte temps réel. En effet, si les métadonnées géographiques sont aujourd'hui définies selon des normes ISO et ont pour vocation de faciliter l'échange des données entre utilisateurs différents et notamment de renseigner sur la qualité des données, ces métadonnées sont définies pour des données statiques exploitées par des applications traditionnelles.

Ces métadonnées ne prennent pas en compte la qualification de données dynamiques notamment issues d'objets mobiles, agiles ou de mesures temps réel exploitées dans des applications 'en ligne' comme la surveillance de phénomènes naturels ou industriels. La gestion temps réel des données spatio-temporelles issues de ces capteurs nécessite une définition des métadonnées en temps réel notamment pour l'évaluation de la qualité dans un contexte d'aide à la décision en situation critique. L'objectif est de fournir aux utilisateurs en temps réel des informations complémentaires à leurs données afin de les aider dans leur processus de décision.

L'analyse que nous avons réalisée permet de préciser la problématique des métadonnées spatio-temporelles temps réel. Après une mise en évidence de la difficulté d'identification des métadonnées par les utilisateurs, nous avons présenté un modèle de données spatio-temporelles temps réel qui sert de base à l'analyse des métadonnées. Nous avons abordé la spécification des métadonnées en fonction notamment de la dynamique des informations.

L'étude que nous avons menée est actuellement poursuivie afin de pousser l'analyse sur les classifications proposées notamment par une analyse croisée (générique/applicative et statique/dynamique). Nous souhaitons également travailler sur l'identification des métadonnées requises pour établir la qualité des informations transmises lors de la l'acquisition et l'exploitation temps réel. De même, l'analyse sur l'extraction des métadonnées à la demande ou en temps réel doit être

approfondie, en distinguant le contexte d'une exploitation en temps réel d'une exploitation en temps différé. En effet, les données temps réel et donc les métadonnées peuvent être exploitées a posteriori. De plus, une réflexion sur des mécanismes d'extraction ou d'annotation automatique des métadonnées a posteriori pourrait être menée.

Bibliographie

- ADAE, 2005. Agence pour le développement de l'administration électronique. Information géographique. Recommandation relative aux métadonnées. Ver. 1.0 du 11 octobre 2005.
- Azouzi et al., 1996. Azouzi M., Merminod B. "Qualité des données spatiales". *Revue Mensuration*, 1996, Photogrammétrie. Génie Rural. Suisse.
- Barde et al., 2003. Barde J., Divol J. Projet Syscolag: Métadonnées et Ontologie. 2003
- Brewer, 2002. Brewer I., "Cognitive Systems Engineering and GIScience: Lessons Learned from a Work Domain Analysis for the Design of a Collaborative, Multimodal Emergency Management GIS", in *M.J. Egenhofer; D.M. Mark, Geographic information science second international conference, GIScience 2002*, Boulder, CO, USA, September 25-28, 2002: proceedings, Springer-Verlag, Berlin, 2002.
- Charpentier, 2005. Charpentier E. Metadata distribution in real-time for in situ SST and temperature profile data. Review of Programme area activities. Joint WMO/IOC Technical Commission for Oceanography and marine Meteorology (JCOMM) Management Committee, Fourth Session. Février 2005.
- Clarke et al., 1995. Clarke D.G., Clark D.M., "Lineage" , dans S.C. Guphill, J.L. Morrisson, *Elements of spatial data quality*, p. 13-30, Elsevier, Oxford, 1995.
- CNIG, 2002. CNIG – Conseil National de l'Information Géographique. GT Littoral, Annexes du rapport. 2002.
- CNIG, 2003. CNIG – Conseil National de l'Information Géographique. INSPIRE implementing rules. Septembre 2003.
- David, 1997. DAVID B., FASQUEL P. "Qualité d'une base de données géographique : concepts et Terminologie ", *Bulletin d'information de l'IGN n° 67*, IGN, Saint-Mandé (FR) : 1997. 40p.
- FGDC, 1998. FGDC - Federal Geographic Data Committee. Content Standard for Digital Geospatial Metadata. N° FGDC-STD-001-1998, juin 1998.
- FGDC, 2000. FGDC - Federal Geographic Data Committee. Content Standard for Digital Geospatial Metadata Workbook.ver.2.0. 2000.

- Goodchild, 1995. Goodchild M.F. "Attribute Accuracy ", Elements of spatial data quality, Guptil S.C., Morrison J.L. (dir), p. 59-80, Elsevier, Oxford, 1995.
- Guide, 2005. Guide SIG. Région Rhône-Alpes. La citoyenne. Systèmes d'information Géographiques – SIG. Les enjeux de la société de l'information pour le développement des territoires rhônalpins. 2005.
- Guptill et al., 1995. GUPTILL S. C., MORRISSON, J.L. (ED.). *Elements of Spatial Data Quality*. Oxford: Elsevier, 1995. 202 p.
- Gutiérrez et al., 2007. Gutiérrez C., Servigne S., Laurini R. "Towards Real-time Metadata for Network-based Geographic Databases", In: *ISSDQ 2007 – 5th International Symposium, Spatial Data Quality 2007*. p. 6. ITC, Enschede The Netherlands, 13-15 june 2007. A apparaître.
- MMI, 2006. MMI-Marine Metadata Interoperability. How are Metadata classified?. http://marinemetadata.org/guides/metadatatypes?set_language=en
Dernière visite: janvier 2007.
- Moeleering, 1987. MOELEERING, H. A draft Proposed Standard for Digital Cartographic Data. National Committee for Digital Cartographic Standards, American Congress on Surveying and Mapping, 1987. Report n°8, 176p.
- Hodgkinson et al., 1991. Hodgkinson P.-E., Stewart M., *Coping With Catastrophe : A Handbook of Disaster Management*, Taylor & Francis Books, New York, 1991.
- Intanagonwiwat et al., 2001. Intanagonwiwat C., Estrin D., Govindam R and AL., 2001. "Impact of Network Density on Data Aggregation in Wireless Sensors Networks", In : *Proceedings of International Conference on Distributed Computings*, Vienna.
- ISO19115, 2006. ISO - An International Metadata Standard for Geographic Information. <http://grdc.bafg.de/servlet/is/2376/> . Dernière visite: janvier 2007.
- ISO8402, 1994. ISO - International Organization for Standarization. *Management de la qualité et assurance de la qualité – Vocabulaire*. ISO, 1994 ; 50 p. Norme ISO 8402.
- ISO9000, 2000. ISO - International Organization for Standarization. *Systèmes de management de la qualité, collection des normes ISO9000, ISO 9001 et ISO 9004, 2000*.
- NOAA,2006. NOAA–NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION
U.S. Departement of Commerce. <http://www.noaa.gov/> . Dernière visite: janvier 2007.
- PIRATA, 2006. PIR-PILOT RESEARCH MOORED ARRAY IN THE TROPICAL ATLANTIC. *Le programme PIRATA*. <http://www.brest.ird.fr/pirata/piratafr.html>.
Dernière visite: janvier 2007.

- Puricelli, 2000. PURICELLI A., Réingénierie et contrôle qualité des données en vue d'une migration technologique, Mémoire de thèse, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Décembre 2000.
- Ramamritham, 1993. Ramamritham K., "Real-time Databases", *Journal of Distributed and Parallel Databases*, Vol.1, No.2, pp. 199-226, 1993.
- Ratnasamy et al., 2002. Ratnsamy S., Estrin D., Govindam R and AL, 2002. Data-Centric Storage in Sensornets, In : *Proceedings of ACM Int. Workshop on Wireless Sensor Networks*. Atlanta.
- Salge, 1995. Salge F., "Semantic Accuracy" dans S.C. Guptill, J.L. Morrison (dir), *Elements of Spatial Data Quality*, p. 139-152, Elsevier, Oxford, 1995.
- Satnam et al., 2001. Satnam A. Agogino A.M., Morjaria M. A Methodology for Intelligent Sensor Measurement, Validation, Fusion and Fault Detection for Equipment Monitoring and Diagnostics. Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkley.
- Servigne et al., 2005. Servigne S., Lesage N., Libourel T. « Composantes qualité et métadonnées ». *Qualité de l'information géographique*. Paris : Hermes-Lavoisier. Collection IGAT. 33 pages. Pp. 213-246. ISBN 2-7462-1097-5 2005.
- Servigne et al., 2006. Servigne S., Lesage N., Libourel T., "Spatial data quality: an introduction". *International scientific and technical encyclopedia*. 2006. ISBN 1905209568. Pp 179-208.
- Servigne et al., 2006b. Servigne S., Tanzi T., Noel G. "Telegeomatic system and real time spatio-temporal Database". *Proceedings of UDMS 06. Urban Data Management Systems*, Aalborg, Denmark, May 15-17, 2006.12 p.
- STDS, 1992. U.S. Geological Survey, Spatial Data Transfert Standard (SDTS), Reston, VA, 1992.
- TAO, 2006. TROPICAL ATMOSPHERE OCEAN PROJECT. Tao/Triton projects. <http://www.pmel.noaa.gov/tao/index.shtml>. Dernière visite: janvier 2007.
- Taouss, 2003. Taouss A. "Les serveurs de métadonnées géographiques : Moyen organisationnel et outil de diffusion de l'information spatiale". *2nd FIG Regional Conference Marrakech*, Morocco, Decembre 2-5, 2003.
- Veregin, 1999. VEREGIN, H., "Data quality parameters". In *Geographical Information Systems*, Vol. Principles and Technical Issues (Eds, Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J. and Rhind, D. W.) John Wiley & Sons, Inc., pp. 177-189. 1999.