



**HAL**  
open science

## Analyse temps réel du comportement d'objets mobiles évoluant dans un espace ouvert

Laurent Etienne, Thomas Devogele, Alain Bouju

► **To cite this version:**

Laurent Etienne, Thomas Devogele, Alain Bouju. Analyse temps réel du comportement d'objets mobiles évoluant dans un espace ouvert. 5ème atelier Représentation et raisonnement sur le temps et l'espace (RTE), Jan 2010, Caen, France. hal-03357906

**HAL Id: hal-03357906**

**<https://hal.science/hal-03357906v1>**

Submitted on 29 Sep 2021

**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.

# Analyse temps réel du comportement d'objets mobiles évoluant dans un espace ouvert

Laurent ETIENNE<sup>1</sup>

Thomas DEVOGELE<sup>1</sup>

Alain BOUJU<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut de Recherche de l'Ecole Navale

<sup>2</sup> Laboratoire Informatique, Image et Interaction

Institut de Recherche de l'Ecole Navale  
Lanvéoc-Poulmic, CC 600, 29240 BREST Cedex 9  
laurent.etienne@ecole-navale.fr

## Résumé

*De plus en plus d'objets mobiles sont équipés de capteurs qui facilitent la surveillance de leur évolution et permettent la réception, le stockage et la visualisation en temps réel de leur position. Actuellement, la fouille de données dans des historiques de déplacements volumineux offre des perspectives intéressantes dans le domaine de l'étude du comportement de ces objets. À partir de résultats d'analyses statistiques sur des ensembles de trajectoires, des patrons spatio-temporels (trajectoires médianes, couloirs spatio-temporels, routes types) ont été définis. En s'appuyant sur ces patrons, il est possible de détecter en temps réel des situations inhabituelles et d'en qualifier le comportement. Dans cet article, cette méthode est appliquée aux déplacements de navires dans un espace maritime ouvert afin de détecter des comportements inhabituels (retard, hors route, etc.).*

## Mots Clef

trajectoires d'objets mobiles, similitude, trajectoire médiane, couloir spatio-temporel, comportement anormal.

## Abstract

*More and more mobile objects are now equipped with sensors allowing real time monitoring of their movements. Nowadays, the data produced by these sensors is received and stored in spatio-temporal databases in order to visually follow their movements. The main goal of this article is to perform a data mining on a huge quantity of stored positions in order to deduce the behaviour of these mobile objects. From results of statistical analyses on sets of trajectories of mobile objects following the same itinerary, we can compute spatio-temporal patterns (main routes and spatio-temporal channels). Using these patterns, unusual situations can be detected in real time and qualified. In this article, this technique is applied to ships' movements in an open maritime area in order to detect unusual behaviours.*

## Keywords

mobile objects, trajectories, similarity, median trajectory, spatio-temporal channel, unusual behaviour.

## 1 Introduction

La fouille de données (data mining) est employée classiquement pour extraire des connaissances à partir de grandes quantités de données par des méthodes automatiques ou semi-automatiques. Cette fouille de données, appliquée à des historiques volumineux de déplacements d'objets mobiles, offre des perspectives intéressantes dans le domaine de l'étude du comportement de ces objets. Les différentes analyses de similarité de trajectoires proposées dans la littérature se basent sur la densité, la distance ([14, 4, 7]) ou la forme ([10]) entre des trajectoires afin de définir des clusters de trajectoires et d'en déduire des trajectoires aberrantes ([1]). Lee et al. ([9, 3]) ont réalisé une bibliographie importante sur la détection de trajectoires inhabituelles par data mining. Il est à noter que les travaux mentionnés prennent en compte essentiellement l'aspect spatial. La partie temporelle de l'analyse est un sujet de recherche actif encore ouvert ([4, 13]). En ce qui concerne nos recherches, nous partons du postulat que des objets mobiles d'un même type suivant un même itinéraire ont des comportements similaires et suivent une route optimisée en termes de sécurité, de coût et de temps. Par conséquent, des comportements types peuvent être définis ([8]).

La section suivante de cet article présente et formalise les différents concepts employés. Dans la troisième section sont exposées les méthodes de création des patrons spatio-temporels. Enfin, la dernière section traite de l'analyse temps réel du comportement d'un objet mobile en se basant sur l'utilisation des patrons spatio-temporels préalablement définis. Une étude de cas portant sur les navires à passagers en rade de Brest illustre les différentes sections.

## 2 Modélisation des itinéraires et des trajectoires

### 2.1 Trajectoire d'un objet mobile

Les capteurs placés sur des objets mobiles génèrent une quantité importante de données de position. Celles-ci permettent pour chaque objet identifié de disposer à différents instants de leur localisation et retracer leur trajectoire. Afin d'analyser les déplacements des objets mobiles, ces suites de positions sont regroupées afin de composer la trajectoire  $T_o$  de l'objet mobile  $o$ . Cette trajectoire peut être formellement définie comme une suite de positions  $P_{oj} = (x_j, y_j, t_j)$  ordonnées temporellement  $T_o = (P_{o1}, \dots, P_{oj}, \dots, P_{on})$ . Dans notre cas d'étude maritime, le système AIS équipant les navires est destiné à la sécurité du trafic maritime, il transmet la position du navire à intervalle variable en fonction de la vitesse et du déplacement du navire ([8]).

### 2.2 Graphe de zones

Afin d'analyser finement l'historique de ces données de position, la première étape du processus consiste à modéliser les informations implicites que sont les itinéraires et les trajectoires. Contrairement aux objets mobiles se déplaçant sur un réseau, les navires, comme les avions, ou les piétons, se déplacent dans un espace ouvert. Cependant, un réseau implicite existe. En effet, cet espace ouvert peut comporter des obstacles (physiques ou liés à la réglementation) ou des zones d'intérêt formées des destinations des objets mobiles et des lieux de passage obligatoires ou réglementés. Dans notre cas d'étude, les ports, les détroits, les dispositifs de séparation du trafic (DST) tels que le rail d'Ouessant, les zones d'attente forment les sommets d'un graphe maritime. Ces zones d'intérêt disposent de limites géographiques. Ces zones sont reliées par des arcs orientés pour former un graphe de zones ( $G_Z$ ). La figure 1 présente le graphe de zones de la région de Brest. Un itinéraire peut ainsi être défini comme une suite ordonnée de zones reliées deux à deux par des arcs, correspondant à une chaîne du graphe de zones. Un itinéraire étant composé d'au moins un arc, il dispose par conséquent d'une zone de départ  $Z_D$  et d'arrivée  $Z_A$ .

### 2.3 Trajectoire suivant un itinéraire

Les trajectoires peuvent suivre ces itinéraires. Une trajectoire  $T_o$  est considérée comme suivant un itinéraire  $I$  passant par des sommets du graphe  $G_Z$  si :

- pour chaque zone de l'itinéraire  $I$ , il existe au moins une position  $P_{oj}$  de la trajectoire  $T_o$  dans cette zone respectant la relation d'ordre temporel de  $I$ ,
- aucune position  $P_{oj}$  de la trajectoire  $T_o$  n'appartient à une zone du graphe autre que celles de l'itinéraire,
- seule la première position  $P_{od}$  de la trajectoire appartient à la zone de départ de l'itinéraire  $Z_D$ ,
- de même, seule la dernière position  $P_{oa}$  de la trajectoire appartient à la dernière zone de l'itinéraire  $Z_A$ .

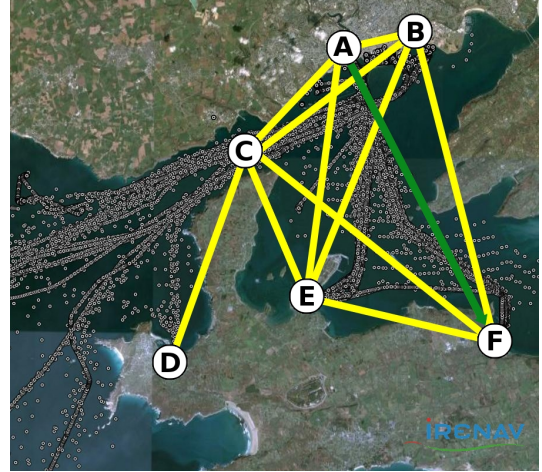


FIG. 1 – Graphe de zones de la région de Brest

## 3 Patrons spatio-temporels

### 3.1 Trajectoire médiane

Une fois les définitions de trajectoires et d'itinéraire posées, il est possible de construire la trajectoire médiane ( $Tr_{med}$ ) des objets mobiles d'un certain type  $T$  suivant un même itinéraire  $I$ . Cette trajectoire médiane doit être déduite statistiquement à partir de l'ensemble des trajectoires répondant aux critères (itinéraire  $I$  et type  $T$ ), nommé ci-après groupe homogène de trajectoires ( $GHT_{IT}$ ). Afin de simplifier les phases de calcul appliquées à ce  $GHT_{IT}$ , chaque trajectoire du groupe est préalablement filtrée afin de ne conserver que les positions caractéristiques de la trajectoire ([2, 8]). Le calcul de la trajectoire médiane génère des nuages de positions interpolées, ordonnés selon un temps relatif ([8]). Le temps relatif est le temps écoulé depuis le départ de l'objet de la zone  $Z_D$ . En sélectionnant les valeurs médianes des latitudes et longitudes des différents nuages de positions, des positions médianes sont obtenues pour chaque temps relatif. En reliant ces positions médianes, la trajectoire médiane ( $T_{med}$ ) de l'itinéraire est définie et sauvegardée dans la base de connaissances. Une approche statistique médiane a été préférée à une analyse basée sur la moyenne. En effet, cette approche est moins sensible aux écarts importants qui ne sont pas symétriques.

La figure 2 présente la trajectoire médiane (en jaune) du groupe homogène des trajectoires de "navires à passagers" effectuant l'itinéraire Brest - Lanvéoc.

### 3.2 Couloir spatio-temporel

Cette trajectoire médiane est ensuite complétée par un couloir spatio-temporel qui délimite l'espace géographique et temporel au sein duquel la majorité des trajectoires qui suivent cet itinéraire évoluent. Ce couloir spatio-temporel englobant les positions habituelles autour de la trajectoire médiane est également calculé par analyses statistiques. La première étude est spatiale. Elle s'appuie sur la droite per-

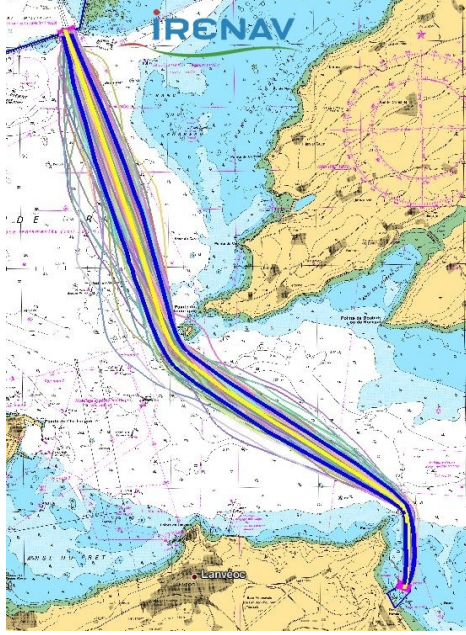


FIG. 2 – Trajectoire médiane et son couloir spatio-temporel

pendiculaire au cap ( $DPC$ ) de chaque position de  $T_{med}$ . Le cap suivi par un navire représentant la direction suivie par l'objet mobile. Pour chaque trajectoire du  $GHT_{IT}$ , le point d'intersection avec la  $DPC$  est calculé, classé en deux parties (à droite ou à gauche) et ordonné par ordre de distance à la position de  $T_{med}$ . Pour chaque partie, le neuvième décile (seuil choisi empiriquement) de chaque côté de la trajectoire médiane est sélectionné. En reliant ces positions ordonnées, le couloir spatial de navigation est obtenu et sauvegardé dans la base de connaissances. La même analyse est effectuée en classant les positions obtenues par ordre de temps, ceci permettant d'obtenir les limites temporelles du couloir ([8]). La figure 2 présente le couloir spatial (en bleu) du groupe homogène des trajectoires de "navires à passagers" effectuant l'itinéraire Brest - Lanvéoc. L'ensemble trajectoire médiane associé au couloir spatio-temporel compose la route type.

## 4 Analyse temps réel

En s'appuyant sur cette base de connaissances, il est alors possible de détecter en temps différé ou en temps réel (temps réel souple) des situations inhabituelles et de qualifier le comportement d'un objet mobile.

### 4.1 Appariement à un itinéraire

Pour une nouvelle position  $P$  reçue, ce processus de détection des situations inhabituelles suppose préalablement d'associer cette position à un des patrons spatio-temporels liés à un arc d'un itinéraire du graphe de zones (figure 3.1). Dans cet objectif, sa trajectoire doit être appariée avec une des trajectoires médianes de la base de connaissances. Cet appariement s'effectue en fonction :

- de la position actuelle de l'objet mobile,
- du type de l'objet mobile,
- de l'historique de sa trajectoire,
- des intersections de sa trajectoire avec des zones du graphe,
- de l'éventuelle information concernant sa destination prévue.

Cet appariement est plus ou moins précis. En effet, si il existe plusieurs  $T_{med}$  proches de l'objet mobile et que sa destination finale est inconnue, l'appariement reste incertain. En revanche, si les destinations des objets mobiles sont connues (préalablement indiqué dans une feuille de route par exemple) ou bien si une unique  $T_{med}$  est proche de l'objet mobile, alors l'appariement est plus fiable. Si la destination est connue, à l'aide du graphe de zones, il est possible de déterminer la  $T_{med}$  à appairer à l'aide de la dernière zone traversée par la trajectoire. Par exemple, lorsqu'un navire à passagers quitte la zone de Brest (Zone A du graphe de la Figure 3.2) sa trajectoire peut être appariée à différentes routes types correspondant aux arcs du graphe de zones (A-E, A-C, A-B, A-F) représentées en marron sur la figure 3.2. Plus le navire se dirige vers sa destination finale, plus il est sensé suivre la trajectoire médiane associée à son itinéraire. Ainsi, comme indiqué sur la figure 3.3, la trajectoire médiane associée à la trajectoire du navire (en bleu clair) est sélectionnée en fonction de la position et de la trajectoire de l'objet mobile.

Une distance linéaire partielle est appropriée à cette tâche ([6]). L'objectif est de mesurer les distances linéaires entre la trajectoire  $T_r$  partant de la zone  $Z_D$  jusqu'à la position actuelle de l'objet mobile (représentée en bleu clair sur la figure 3.3) et les trajectoires médianes ( $T_{med}$ ) (représentées en jaune sur la figure 3.3) associées aux différents arcs du graphe de zones partant de  $Z$ . Cette distance est calculée en utilisant les estampilles temporelles relatives des positions de la trajectoire. Effectivement, cette estampille temporelle permet de fixer des couples de positions homologues. Les positions relatives de  $T_r$  sont appariées avec les positions des  $T_{med}$  aux mêmes instants. De la sorte, il est possible de tenir compte des accélérations et des ralentissements des objets mobiles. La formule de la distance maximale linéaire partielle entre la trajectoire  $T_r$  et une trajectoire médiane  $T_{med}$  est donc :

$$Dist_{lp}(T_r, T_{med}) = \max_{(0 \leq t \leq d)} \|T_r(t) - T_{med}(t)\|$$

Cette distance est discrète, seules les positions relatives stockées de  $T_r$  et des  $T_{med}$  sont prises en compte. Pour chaque position entre l'instant de départ de la dernière zone ( $t = 0$ ) et la durée depuis le départ ( $t = d$ ) de la trajectoire  $T_r$ , la distance avec la position interpolée de  $T_{med}$  est calculée. La  $T_{med}$  la plus proche et à une distance linéaire partielle inférieure à un seuil prédéfini, est appariée avec la trajectoire  $T_r$ .

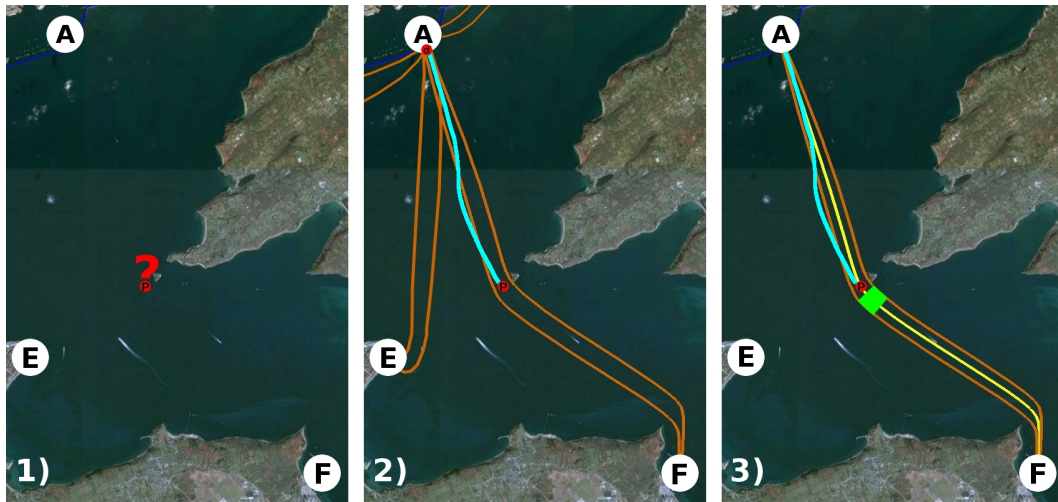


FIG. 3 – Appariement d’une trajectoire à une route type

#### 4.2 Détection de comportement inhabituel

Une fois la  $T_{med}$  appariée à la trajectoire, la dernière position reçue de l’objet mobile peut être qualifiée à l’aide du couloir spatio-temporel associé pour ce type d’objet mobile. En fonction du temps relatif depuis la zone de départ de l’arc de l’itinéraire et du couloir spatio-temporel sélectionné, les 5 zones spatio-temporelles du couloir sont utilisées pour qualifier la position de l’objet (la zone de normalité est représentée visuellement sur les figures 3 et 4 par une zone verte).

Ainsi, en fonction de la position spatiale de l’objet mobile au temps relatif  $t$ , sa position peut être qualifiée comme étant :

- sur la route à l’heure (situation normale représentée par la zone verte)
- sur la route en retard (situation du point P sur les figures 3 et 4),
- sur la route en avance,
- à droite de la route,
- à gauche de la route.

### 5 Conclusion

Les travaux présentés s’intéressent à la problématique particulière du déplacement d’objets mobiles dans un espace ouvert. L’originalité de cette démarche d’analyse de similitude réside dans l’introduction de métaconnaissances ( $GHT_{IT}$ , trajectoire médiane, couloir spatio-temporel, route type) permettant de qualifier les comportements d’objets mobiles suivant un itinéraire dans un espace ouvert. Elle a été appliquée plus particulièrement au domaine maritime comme exposé dans notre exemple basé sur un jeu conséquent de données réelles (5 millions de positions stockées depuis 2007).

En ce qui concerne la surveillance du trafic maritime, les opérateurs peuvent avoir un grand nombre de navires à suivre. La transmission des informations qualitatives

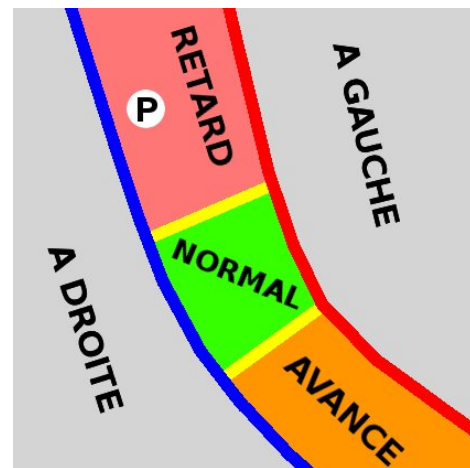


FIG. 4 – Qualification d’une position

concernant la trajectoire du navire leur permet de se focaliser sur un petit nombre de navires. De plus, ce module d’analyse est capable, une fois la trajectoire appariée, d’indiquer la destination du navire ou du prochain nœud du graphe ainsi que le temps nécessaire pour arriver à destination par comparaison avec les données de la trajectoire médiane.

La méthodologie présentée reste cependant générique. Elle pourrait par exemple être appliquée à l’étude du déplacement d’animaux ou de phénomènes naturels. Un prototype fonctionnel a été développé permettant le calcul et la sauvegarde dans une base de connaissances de la trajectoire médiane et du couloir spatio-temporel associé. La partie traitant de l’appariement en temps réel d’une trajectoire à un itinéraire a été modélisée, mais n’a cependant pas encore été implémentée dans ce prototype. Il est désormais important de valider cette dernière phase et de mettre à la disposition d’opérateurs de surveillance du trafic maritime l’ensemble du prototype.

Actuellement, Les trajectoires des objets mobiles sont découpées en s'appuyant sur le graphe de zones. Parallèlement, il est intéressant de scinder les trajectoires non plus selon leur itinéraire, mais selon des tronçons homogènes (ligne droite avec vitesse constante, virage pour changer de cap, etc.) afin de pouvoir décrire qualitativement les trajectoires d'objets mobiles et dans un deuxième temps de comparer qualitativement des trajectoires entre elles (ou avec la trajectoire médiane). L'objectif est donc de décrire les trajectoires à l'aide de variables linguistiques. Une description possible serait : *pour aller de la zone A à la zone B pour un objet de tel type, il faut aller tout droit avec une vitesse d'environ 20 km/h et un cap au sud-est, puis au bout de 10 minutes changer de cap pour aller à l'est et aller tout droit pendant 2 minutes.*

Finalement, une deuxième perspective à cette analyse serait de prendre en compte les spécificités dues à l'environnement dans lequel l'objet mobile évolue (les saisons et les marées dans le cadre de notre exemple). Il serait intéressant d'appliquer d'autres critères de sélection du  $GHT_{IT}$  ainsi que d'enrichir cette analyse en la couplant avec des travaux portant sur la prise en compte de l'environnement ([12]), des statistiques d'accidents ([5]) et des comportements illégitimes ([11]).

## Références

- [1] C. C. AGGARWAL et P. S. YU : Outlier detection for high dimensional data. *SIGMOD*, 30(2):37–46, 2001.
- [2] F. BERTRAND, A. BOUJU, C. CLARAMUNT, T. DEVOGELE et C. RAY : *Web and Wireless Geographical Information Systems*, vol. 4857 de *Lecture Notes in Computer Science*, chap. Web Architecture for Monitoring and Visualizing Mobile Objects in Maritime Contexts, p. 94–105. Springer Berlin / Heidelberg, 2007.
- [3] D. BIRANT et A. KUT : Spatio-temporal outlier detection in large databases. *CIT. Journal of computing and information technology*, 14(4):291–297, 2006.
- [4] L. CHEN, M. T. OZSU et V. ORIA : Robust and fast similarity search for moving object trajectories. In *SIGMOD '05 : Proceedings of the 2005 ACM SIGMOD international conference on Management of data*, p. 491–502, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [5] T. DEGRÉ : The use of risk concept to characterize and select high risk vessels for ship inspections. *12th International Congress of the International Maritime Association of the Mediterranean*, 6:37–49, 2007.
- [6] T. DEVOGELE : A new merging process for data integration based on the discrete fréchet distance. In *Advances in Spatial Data Handling : 10th International Symposium on Spatial Data Handling*, p. 167–181. Springer Verlag, 2002.
- [7] S. DODGE, R. WEIBEL et P. LAUBE : Phd showcase : Exploring movement–similarity analysis of moving objects. In *17th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, 2009.
- [8] L. ETIENNE, T. DEVOGELE et A. BOUJU : Analyse de similarité de trajectoires d'objets mobiles suivant le même itinéraire : Application aux trajectoires de navires. *Ingénierie des Systèmes d'Information*, 14(5/2009):85–106, 2009.
- [9] J. LEE, J. HAN et X. LI : Trajectory outlier detection : A partition-and-detect framework. In *Data Engineering, 2008. ICDE 2008. IEEE 24th International Conference on Data Engineering*, p. 140–149, 2008.
- [10] B. LIN et J. SU : Shapes based trajectory queries for moving objects. In *GIS '05 : Proceedings of the 13th annual ACM international workshop on Geographic information systems*, p. 21–30, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [11] M. MOREL, A. NAPOLI, A. LITTAYE, J. GEORGE, F. JANGAL, B. ALHADEF, C. SCAPEL, J. LEBREVELEC et D. DEJARDIN : Surveillance et contrôle des activités des navires en mer scanmaris. In *Workshop Interdisciplinaire sur la Sécurité Globale*, 2008.
- [12] A. RICHARD : L'optimisation des transits de navires marchands par l'utilisation des courants de marée. *Canadian Journal of Transportation*, 1, 2007.
- [13] Y. SAKURAI, M. YOSHIKAWA et C. FALOUTSOS : Ftw : fast similarity search under the time warping distance. In *PODS '05 : Proceedings of the twenty-fourth ACM SIGMOD-SIGACT-SIGART symposium on Principles of database systems*, p. 326–337, New York, NY, USA, 2005. ACM.
- [14] C.-B. SHIM et J.-W. CHANG : *Advances in Databases and Information Systems*, chap. Similar Subtrajectory Retrieval for Moving Objects in Spatio-temporal Databases, p. 308–322. Springer, 2003.