

MOTIFS SPATIO-TEMPORELS DE TRAJECTOIRES, DE L'EXTRACTION À LA DÉTECTION DE COMPORTEMENTS INHABITUELS

Application au trafic maritime

par Laurent Étienne

Université Dalhousie Département d'ingénierie industrielle
5269 Morris Street. Halifax, NS, B3H 4R2. CANADA
laurent.etienne@dal.ca
Web : www.letienne.net

Introduction

Les systèmes de géolocalisation permettent la surveillance en temps réel des déplacements d'objets mobiles. Ces systèmes génèrent cependant des volumes de plus en plus conséquents de données spatio-temporelles difficiles à analyser à la volée par un opérateur humain (Morel et al., 2008). Cette problématique entraîne de plus une surcharge cognitive nuisant à la détection d'objets ayant un comportement inhabituel. Néanmoins, le stockage de l'historique des trajectoires de ces objets mobiles dans des bases de données offre des perspectives nouvelles quant à l'analyse des comportements sous-jacents.

Méthodologie

Dans cette thèse, nous nous sommes intéressés à l'étude du mouvement d'objets mobiles. Cette thèse a proposé un processus d'intégration de données portant sur les objets mobiles et l'historique de leur déplacement. Un modèle conceptuel générique pour le déplacement d'objets mobiles évoluant dans un espace ouvert a été proposé et instancié dans le cadre de déplacements d'objets maritimes (Turchin, 98, Wolfson, 2002).

Ce modèle est basé sur le postulat que les objets mobiles d'un même type évoluant dans un même espace ont des comportements similaires et suivent une route optimisée en fonction d'un ensemble d'objectifs (fig. 1). Nous avons également proposé un

schéma fonctionnel mettant en œuvre les différentes étapes nécessaires au processus d'aide à la décision (fig. 2).

Extraction de motifs spatio-temporels

Le concept de similarité entre trajectoires ainsi que de nombreuses techniques d'analyse de similarité ont été présentés dans cette thèse (Agrawal et al., 1993, Alt & Guibas, 1996, Faloutsos et al., 1997). Nous avons également proposé une technique d'extraction de motifs spatio-temporels de trajectoires à partir de groupes de trajectoires similaires (Lee et al., 2007, Étienne et Devogèle, 2012). Ces motifs correspondent à la synthèse des mouvements des groupes d'objets mobiles (Lee et al., 2008), ils sont obtenus à partir d'une analyse statistique des distributions des différents paramètres de nuages de positions homologues du groupe de trajectoires (Devogèle, 2002). Cette représentation sous la forme d'une trajectoire type et d'un couloir spatio-temporel associé a été présentée comme une extension du concept des boîtes à moustaches aux données spatio-temporelles (Tukey, 1977, Le Guen, 2001). Ce motif tient compte du contexte dans lequel l'objet mobile évolue (fig. 3).

Une analyse des propriétés statistiques de ces motifs a également été réalisée. Cette analyse a mis en évidence la présence de variations dans la symétrie et l'étalement des masses de probabilité, confortant le choix de notre approche basée sur la médiane et les percentiles.

Ainsi, l'étude statistique d'un groupe de trajectoires similaires permet d'obtenir des informations concernant les comportements de ces objets. Les résultats de cette étude sont synthétisés au sein d'une route-type dont le modèle a été formellement défini et intégré dans une base de connaissances.

Détection de comportements inhabituels

La dernière problématique adressée dans cette thèse consiste à qualifier le comportement d'un objet mobile en fonction de son mouvement (fig. 2). Nous nous sommes intéressés à l'utilisation du patron spatio-temporel préalablement défini pour qualifier des trajectoires d'objets mobiles. Les données en temps réel de positions et de trajectoires partielles d'objets mobiles sont comparées aux motifs contenus dans la base de connaissances (fig. 4).

Inspirés des techniques d'analyse de similarité entre deux trajectoires, nous avons proposé un processus d'appariement entre une trajectoire partielle et une route-type. Ce processus d'appariement sélectionne au sein d'une base de connaissances la route-type permettant de qualifier la trajectoire d'un objet mobile suivant le même itinéraire. Nous avons également spécifié un processus de qualification spatio-temporelle des trajectoires d'objets mobiles comparées à des motifs et basées sur un raisonnement flou (B. Bouchon-Meunier, 1995). Un ensemble de mesures de similarité, spatiales et temporelles, a été proposé.

Différentes variables floues ont été définies à partir de l'étude statistique des mesures spatiales et temporelles des trajectoires du groupe de trajectoires similaires. Les valeurs de ces mesures de similarité peuvent ensuite être représentées sous la forme de variables floues afin d'être utilisées dans un

ensemble de règles floues que nous avons déclinées à partir d'un arbre de décision (fig. 5).

Le processus de raisonnement flou sur ces mesures permet d'obtenir un indice de similarité spatio-temporelle entre la trajectoire de l'objet mobile et le motif (fig. 6). L'indice de similarité spatio-temporelle obtenu est plus proche de la perception humaine et peut être employé pour faciliter l'analyse de trajectoires d'objets mobiles pour un opérateur de surveillance de trafic (Étienne et al., 2011).

La figure 7 illustre en trois dimensions les résultats obtenus dans cette thèse. La troisième dimension représente le temps relatif depuis le départ de l'itinéraire. Les trajectoires dessinées en bleu sortent spatialement du couloir, la trajectoire noire est en avance alors que la trajectoire violette prend du retard.

Conclusion

Ainsi, à partir d'une simple base de données gérant les positions d'objets mobiles et permettant uniquement de répondre à des questions simples du type "Où est tel objet ?", nous passons progressivement à une base de données contenant ces informations de positionnement, mais aussi des connaissances de plus haut niveau liées au comportement des objets mobiles.

La démarche que nous avons présentée a permis de regrouper des connaissances (motifs), des outils de qualification (règles floues) et des données de production en temps réel (les positions) au sein d'une même base de données. Ce type de bases appelé base de données inductives (Lmielinski & Mannila, 1996) permet en manipulant simultanément les données et les connaissances d'analyser le comportement des objets mobiles et de poser des requêtes de plus haut niveau.

Bibliographie

Agrawal R., Faloutsos C. et Swami A., 1993, "Efficient Similarity Search In Sequence Databases", *Proceedings of the 4th International Conference on Foundations of Data Organization and Algorithms*, vol. 730, p 69-84.

Alt H. et Guibas L.J., 1996, "Discrete Geometric Shapes: Matching, Interpolation, and Approximation. A survey", dans *Handbook of Computational Geometry*.

Bouchon-Meunier B., 1995, *La logique floue et ses applications*, Addison-Wesley France.

Devoegele T., 2002, "A New Merging Process for Data Integration Based on the Discrete Fréchet Distance", *Proceedings of the 10th International Symposium on Spatial Data Handling*, p 167-181.

Etienne L., Ray C. et McArdle G., 2011, "Spatio-Temporal Visualisation of Outliers", *Proceedings of the international workshop on Maritime Anomaly Detection*, p 119-120.

Etienne L. et Devoegele T., 2012, "Mesures de similarité de trajectoires basées sur l'utilisation de patrons spatio-temporels", *Revue Ingénierie des systèmes d'Information*, Hermès, vol.17, n°3, p. 11-34.

Faloutsos C., Jagadish H.V., Mendelzon A.O. et Milo T., 1997, "Signature Technique for Similarity-Based Queries", *Proceedings of Compression and Complexity of Sequences*, p. 2-20.

Lee J.G., Han J. et Whang K., 2007, "Trajectory Clustering : A Partition and-group Framework", *Proceedings of the ACM SIGMOD international conference on management of data*, p. 593-604, New York, NY, USA.

Lee J.G., Han J. et Li X., 2008, "Trajectory Outlier Detection : A Partition-and-Detect Framework", *Proceedings of the IEEE 24th International Conference on Data Engineering*, p. 140-149.

Le Guen M., 2001, "La boîte à moustaches de TUKEY, un outil pour initier à la Statistique", *Statistiquement vôtre*, vol. 4.

Lmielinski T. et Mannila H., 1996, "A Database Perspective on Knowledge Discovery", *Communications of the ACM*, vol. 39, n° 11, p. 58-64.

Morel M., Napoli A., Littaye A., George J.P., Jangal F., Alhadeif B., Scapel C., Lebrevelec J. et Dejardin D., 2008, "Surveillance et contrôle des activités des navires en mer ScanMaris", dans *Workshop interdisciplinaire sur la sécurité globale*.

Tukey J.W., 1977, *Exploratory data analysis*, Addison-Wesley.

Turchin P., 1998, *Quantitative analysis of movement : Measuring and modeling population redistribution in animals and plants*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA.

Wolfson O., 2002, "Moving Objects Information Management : The Database Challenge", *Proceedings of the 5th International Workshop on Next Generation Information Technologies and Systems*, p. 75-89, London, UK.

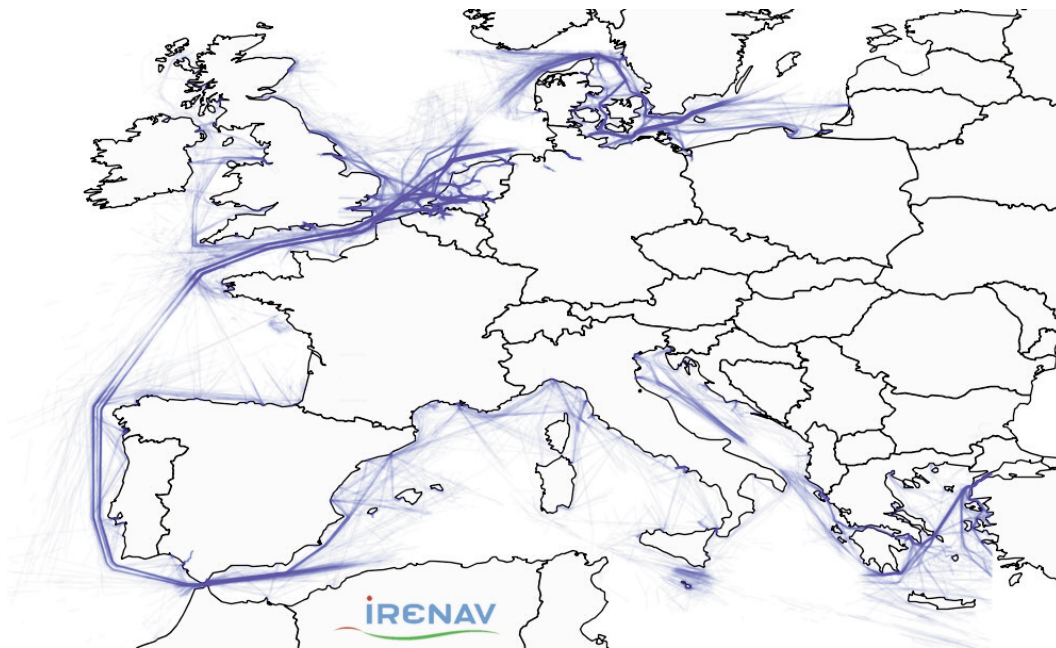


Figure 1 : Carte de densité des trajectoires de navires en Europe (décembre 2010, 20 millions de positions)

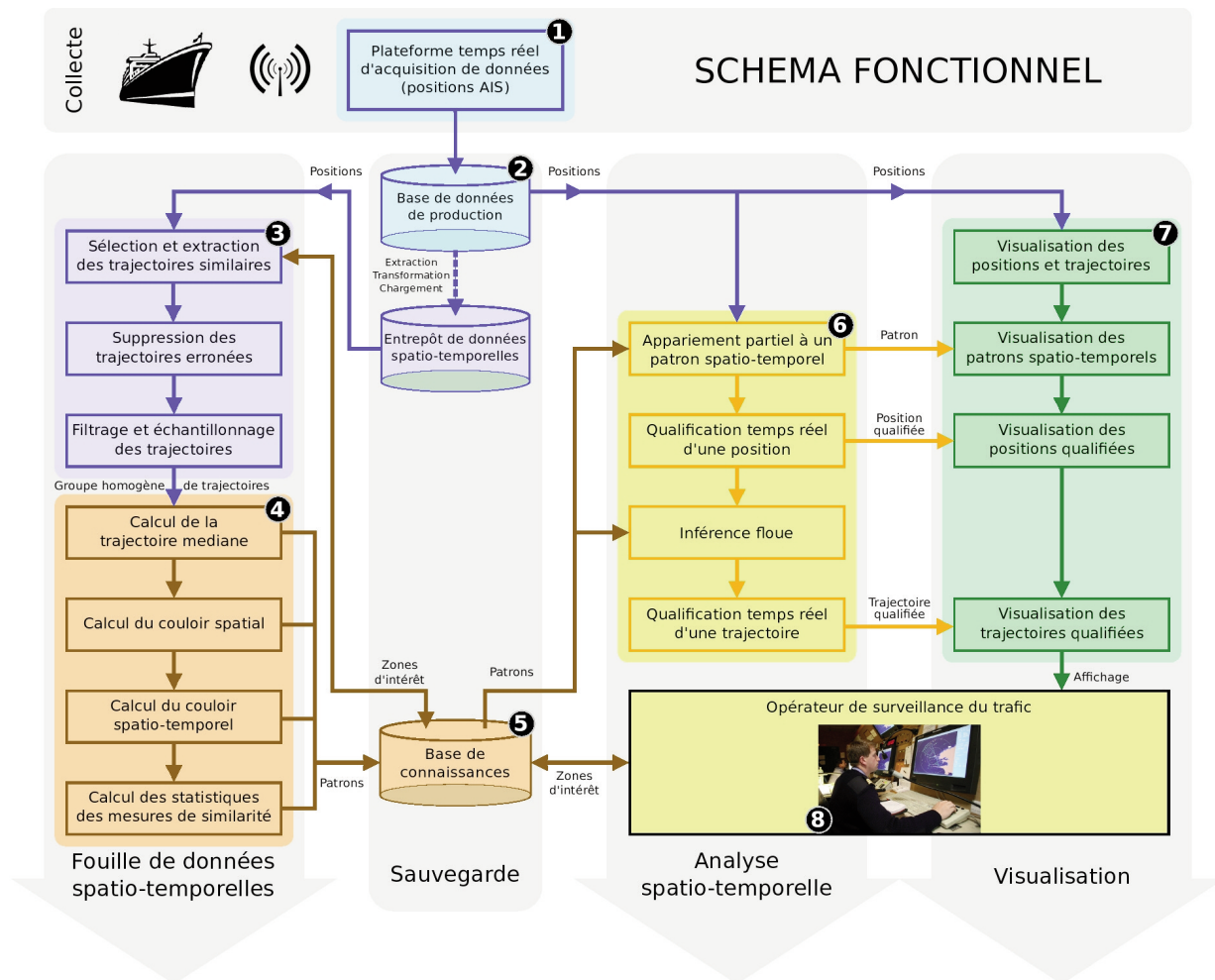


Figure 2 : Méthodologie

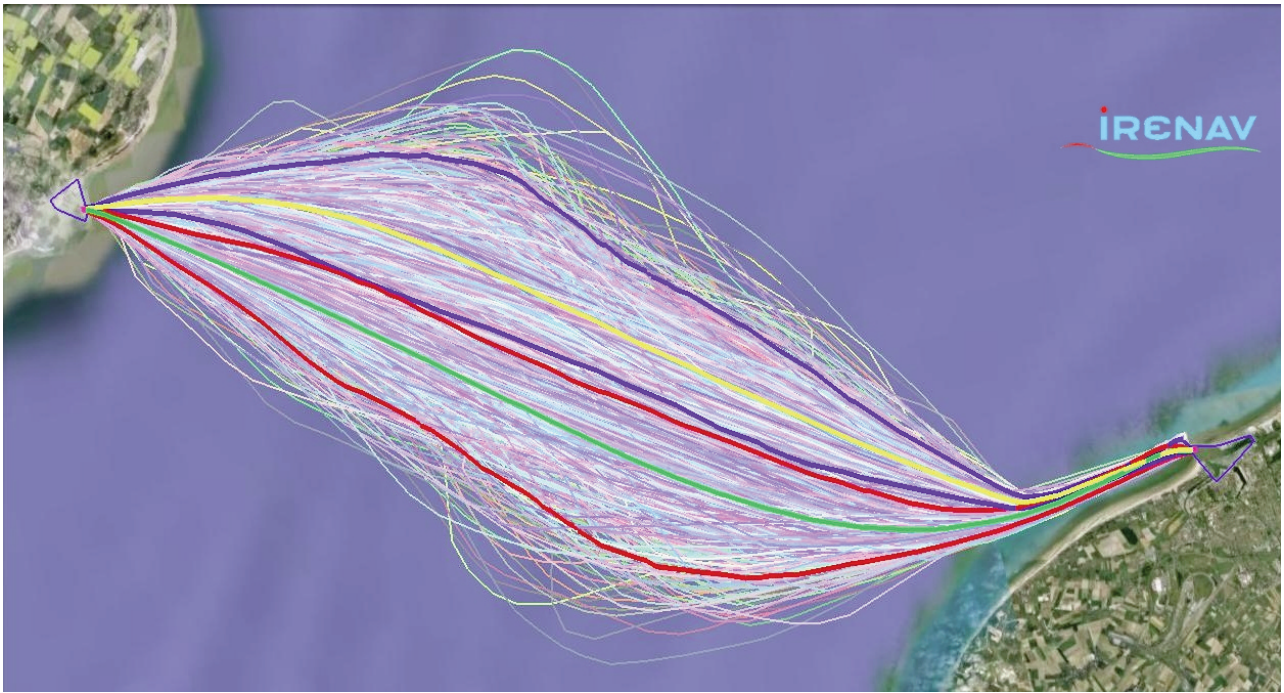


Figure 3 : Routes types de navires à passagers suivant l'itinéraire "Calais-Douvres"

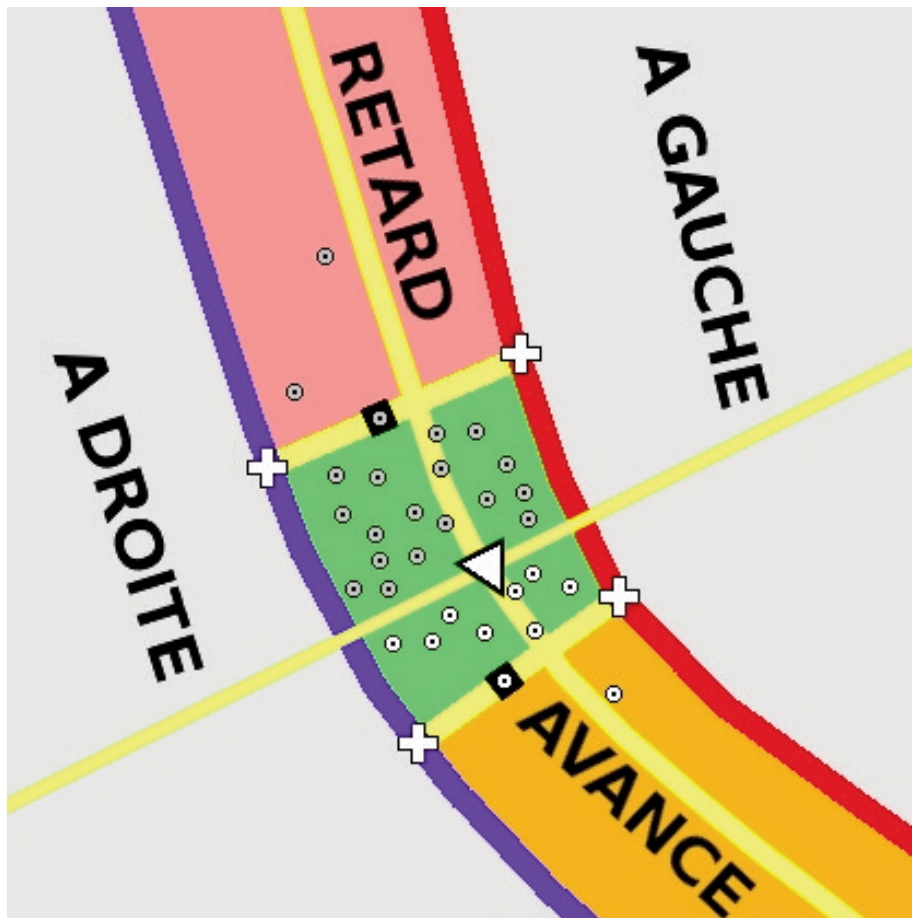


Figure 4 : Zone de normalité spatio-temporelle

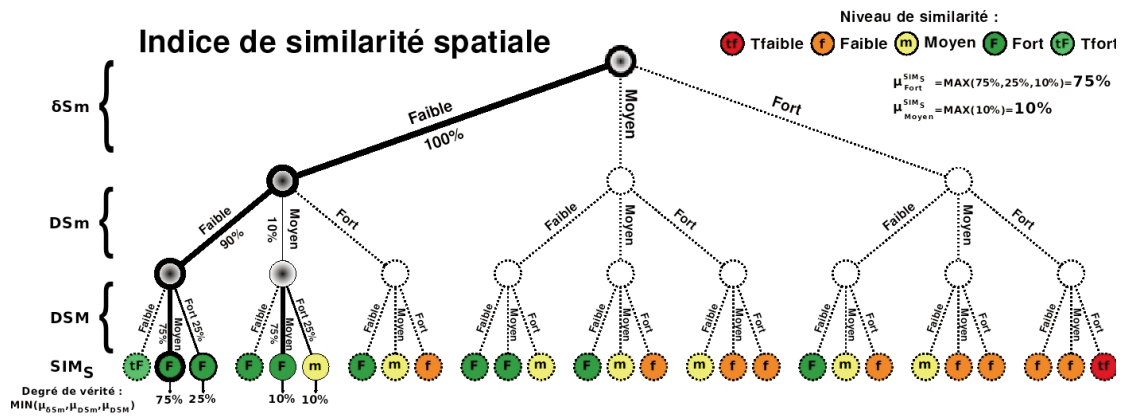


Figure 5 : Arbre de décision flou

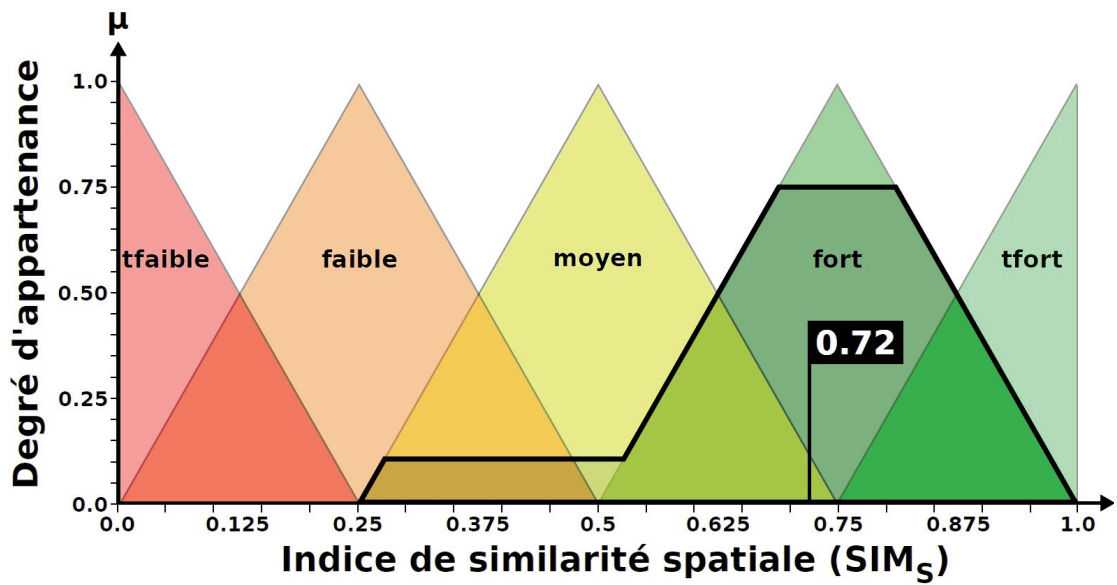


Figure 6 : Indice de similarité spatiale entre une trajectoire et un patron

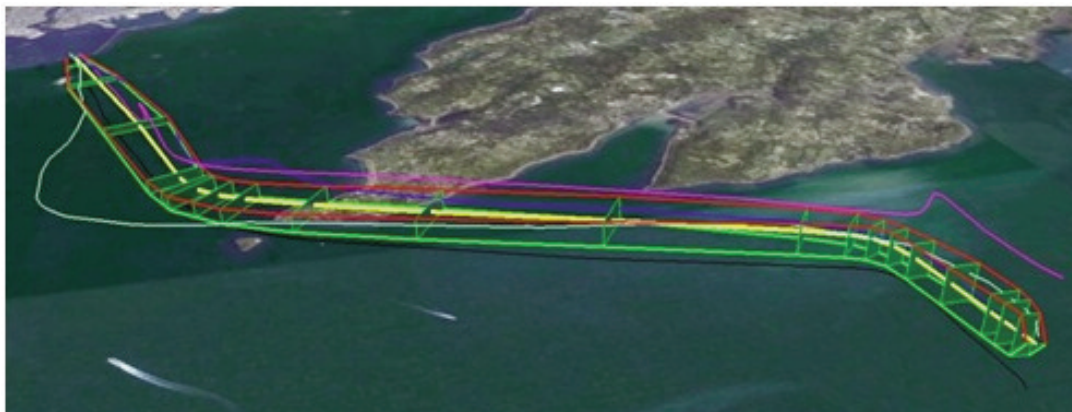


Figure 7 : Représentation 3D d'un patron spatio-temporel et de trajectoires anormales