



Mesures de similarité de trajectoires suivant le même itinéraire

Thomas Devogele, Laurent Etienne

► To cite this version:

Thomas Devogele, Laurent Etienne. Mesures de similarité de trajectoires suivant le même itinéraire. Conférence internationale de Géomatique et Analyse Spatiale (SAGEO) 2010, Nov 2010, Toulouse, France. pp.155-169. hal-03357887

HAL Id: hal-03357887

<https://hal.science/hal-03357887>

Submitted on 30 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.

Mesures de similarité de trajectoires suivant le même itinéraire

Thomas Devogele¹, Laurent Etienne²

1 : Université François Rabelais Tours / LI, 3 place Jean Jaurès, 41000 Blois

e-mail : thomas.devogele@univ-tours.fr

2 : Institut de Recherche de L'Ecole navale, Lanvéoc 29240 Brest

e-mail : laurent.etienne@ecole-navale.fr

RÉSUMÉ. Les systèmes de suivi d'objets mobiles surveillent en temps réel la dernière position de ces objets. Le stockage des données historiques offre des perspectives encourageantes en termes d'analyse de trajectoires et d'enrichissement de ces systèmes par des connaissances sur les déplacements et les comportements habituels liés aux usages. Ainsi, la fouille de données dans les historiques des déplacements d'objets suivant un même itinéraire et de même type permet de définir des patrons spatio-temporels : les routes types. En s'appuyant sur ces patrons, il est alors possible de détecter en temps réel des positions inhabituelles. Or, les positions d'un objet mobile prises individuellement peuvent être normales sans pour autant impliquer que la trajectoire soit habituelle. Il est donc nécessaire de définir des mesures de similarité entre une trajectoire d'un point de vue global et un patron de trajectoires. Cet article définit des mesures de similarité portant sur les aspects spatiaux et temporels. Il propose par la suite de déterminer un indice de similarité basé sur ces mesures et la logique floue.

ABSTRACT. 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. Data mining on this huge quantity of stored positions allows to extract the behaviour of these mobile objects (spatio-temporal patterns) and to analyze in real time trajectories of mobile objects following the same itinerary. Using these patterns, unusual situations can be detected. Two kinds of unusual situations are distinguished: unusual positions and unusual trajectories. The first one describes position delayed or far away from patterns positions. The second one describes trajectories dissimilar to spatio-temporal patterns. This article defines similarity index based on spatial and temporal measures and fuzzy logic.

MOTS-CLÉS : objet mobile, analyse de trajectoires, fouille de données spatio-temporelles, mesure de similarité, route type, logique floue.

KEYWORDS: mobile object, trajectory analysis, spatio-temporal data mining, similarity measure, main route, fuzzy logic.

1. Introduction

Le suivi d'objets mobiles est utilisé couramment dans de nombreux domaines tels que la migration des animaux (Mefteh et *al.*, 2008), le suivi de phénomènes météorologiques (Lee et *al.*, 2008), les mouvements de foules, de piétons (Knorr et *al.*, 2000), les déplacements de véhicules (automobiles, aéronefs, navires...) (Wang et *al.*, 2006; Kharrat et *al.*, 2008). Or, les systèmes de suivi d'objets mobile, le plus souvent, se contentent de surveiller en temps réel la dernière position de ces objets. Cependant, le stockage des données historiques dans des entrepôts de données offre des perspectives encourageantes en termes d'analyse de trajectoire et d'enrichissement de ces systèmes par des connaissances sur les déplacements et les comportements habituels. Actuellement, le volume de données à traiter en temps réel est de plus en plus important ce qui entraîne une surcharge cognitive des opérateurs. Une aide à la décision est donc indispensable pour faciliter la détection de positions ou de trajectoires inhabituelles. De tels outils d'analyse de trajectoires couplés à une visualisation appropriée offrent, à des opérateurs de surveillance, la possibilité de se focaliser sur certaines trajectoires considérées comme anormales. En fonction de l'application, ces positions peuvent refléter le déplacement d'un animal malade, d'un piéton ayant une attitude suspecte ou un navire s'éloignant de la route pour en éviter un autre. Pour identifier ces dernières, il est nécessaire au préalable de déterminer des patrons spatio-temporels caractérisant les déplacements habituels. Cet article se focalise sur des patrons décrivant des trajectoires d'un même type d'objets se déplaçant dans un espace ouvert, ayant une origine et une destination communes. A l'aide de ces patrons, il doit être possible de définir dans quelle zone est sensée se situer une position d'un objet suivant cet itinéraire en fonction de la durée depuis le départ. Néanmoins, les positions d'un objet mobile prises individuellement peuvent être normales sans pour autant impliquer que la trajectoire soit habituelle. Il est donc nécessaire de définir des mesures de similarité entre une trajectoire d'un point de vue global et un patron de trajectoires. Il est donc indispensable de mesurer la similarité entre une trajectoire et un patron. Ces mesures doivent porter sur les aspects géométriques et temporels. De même, il est souhaitable de disposer d'un indice de similarité global basé sur ces mesures.

L'application de ces travaux au contexte maritime a pour objectif d'augmenter la sécurité maritime dans des zones denses. Ainsi, les comportements inhabituels de navires peuvent être mis en avant. L'entrepôt de données spatio-temporelles étudié dans l'exemple maritime contient 1005 navires ainsi que 4 821 447 positions recueillies sur une période de 30 mois dans la région brestoise. Chaque position est associée à un navire.

Le chapitre suivant de cet article introduit les méthodes employées pour définir les patrons spatio-temporels : les routes types. Les mesures de similarité proposées sont présentées dans le chapitre trois. Enfin, le quatrième chapitre explique comment obtenir un indice de similarité d'une trajectoire et d'un patron à l'aide de ces mesures et de la logique floue. Ces méthodes sont illustrées par des trajectoires de navires.

2. Définition de routes types

Ce chapitre résume succinctement la définition des patrons spatio-temporels de trajectoires dans un espace ouvert. Par espace ouvert, il faut comprendre que les objets ne se déplacent pas sur un réseau contraint tel l'espace ferré et l'espace routier. Un patron caractérise les itinéraires d'objets mobiles de même type et ayant la même origine et la même destination. Une description détaillée est disponible dans (Etienne et *al.* 2009). Ce travail repose sur le postulat suivant : dans un espace ouvert, des objets mobiles de même type ayant le même itinéraire suivent des trajectoires similaires optimisées en termes de temps, de distance et de sécurité. Ces patrons sont appelés **routes types**.

2.1. Extraction des groupes homogènes de trajectoires

Pour chaque type d'objet et chaque itinéraire, la première étape consiste à extraire de l'entrepôt de données le groupe de trajectoires d'un objet de ce type, suivant cet itinéraire. Ce groupe est appelé **groupe homogène de trajectoire (GHT)**. Dans l'exemple de la figure 1, le GHT du type "navires à passagers" suivant l'itinéraire Brest Arsenal - l'Ecole navale est affiché



Figure 1. Groupes des 554 trajectoires de navires à passagers suivant l'itinéraire Brest Arsenal → Lanvéoc Ecole navale

2.2. Détermination de la trajectoire médiane

La deuxième étape consiste à définir une trajectoire médiane. Cette trajectoire est une suite ordonnée des positions médianes. Ces dernières ont pour coordonnées la latitude médiane et la longitude médiane des positions des trajectoires du GHT au même temps relatif normalisé. Ce temps correspond à un pourcentage de la durée pour parcourir cet itinéraire. La figure 2 représente les trajectoires (trait clair fin) du GHT de la figure 1, un nuage de positions à un même temps normalisé (point noir) et la position médiane (point noir cerclé de blanc).

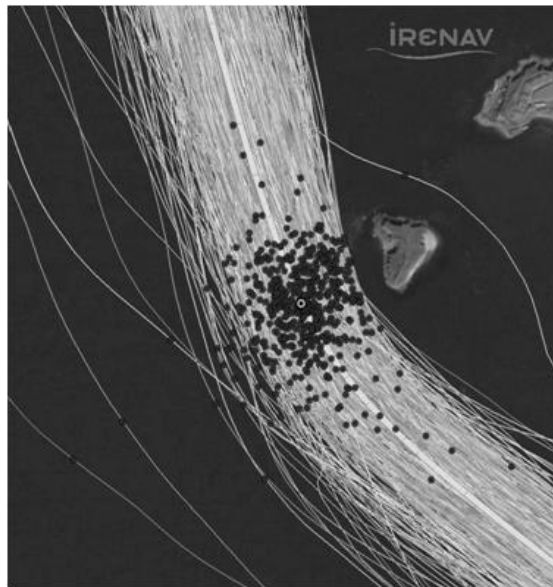


Figure 2. Définition d'une position médiane à partir des positions des objets mobiles au même temps relatif normalisé

L'utilisation des positions médianes permet d'éviter un biais pouvant être lié à des trajectoires anormales ayant un écart très important. La trajectoire médiane est filtrée (Bertrand et *al.* 2007) afin de ne garder que les positions les plus significatives.

2.3. Définition des couloirs spatio-temporels

Une fois cette trajectoire médiane obtenue, la route type doit être complétée afin de connaître l'écartement possible normal d'un point de vue spatial puis d'un point de vue temporel. Dans cet objectif, premièrement, un couloir spatial est défini, il contient P % des trajectoires à droite et P % des trajectoires à gauche. Ce pourcentage P est actuellement fixé empiriquement. Les trajectoires sont ordonnées à l'aide du point d'intersection entre la trajectoire et une **droite perpendiculaire au**

cap (DPC) en chaque position de la trajectoire médiane. Ces points d'intersection étant sur un espace à une dimension, il est possible de les ordonner totalement en fonction de la distance à la position médiane. La figure 3 représente en trait foncé épais, les frontières du couloir spatial autour de la trajectoire médiane pour l'exemple retenu avec un pourcentage de 90%.

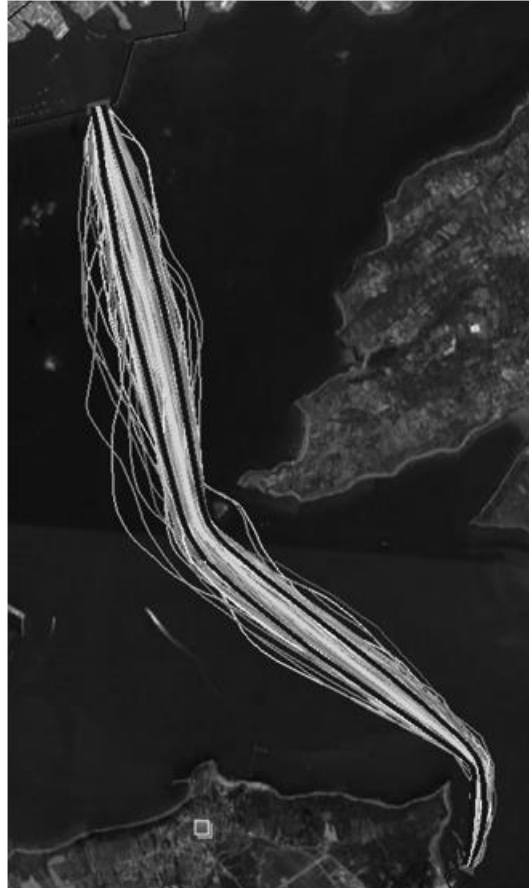


Figure 3. Définition du couloir spatial (trait foncé épais) autour de la trajectoire médiane (trait épais clair)

De même, un couloir temporel est calculé. Il regroupe P % des trajectoires en retard et P % des trajectoires en avance à l'intérieur du couloir spatial. Seules les trajectoires à l'intérieur du couloir spatial sont prises en considération pour ce calcul statistique. En effet, les trajectoires à l'extérieur peuvent soit faire un détour ou prendre un raccourci. Il ne faut donc pas les prendre en compte. La DPC est aussi employée, les points d'intersection sont ordonnés en fonction de l'estampille temporelle de temps relatif (durée écoulée depuis le départ).

La route type est donc composée pour chaque GHT, d'une trajectoire médiane et pour chaque position médiane d'un écart spatial à droite toléré (ESDT), d'un écart spatial à gauche toléré (ESGT), d'un écart temporel de retard toléré (ETRT), et d'un écart temporel d'avance toléré (ETAT). A chaque temps relatif de position médiane, il est donc possible de définir cinq zones spatiales :

- dans le couloir à l'heure,
- dans le couloir en retard,
- dans le couloir en avance,
- à droite du couloir,
- à gauche du couloir.

La figure 4, représente les 5 zones obtenues au temps relatif de la figure 3.

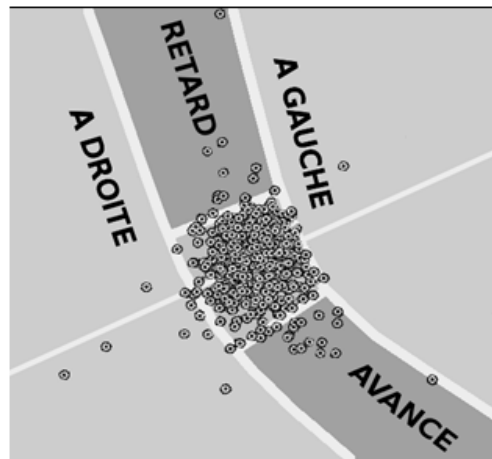


Figure 4. Partitionnement de l'espace en fonction du couloir spatio-temporel à un temps relatif

Il est ainsi possible pour chaque nouvelle position obtenue, de la qualifier en temps réels à l'aide du patron spatio-temporel associé à l'itinéraire suivi par l'objet mobile à cette position.

3. Mesure de similarité entre trajectoires

La qualification des positions est un critère fondamental pour identifier les situations inhabituelles. Néanmoins, cette information n'est pas suffisante. Effectivement, une trajectoire peut être une suite ordonnée de positions qualifiées de "dans le couloir, à l'heure" et être inhabituelle. Par exemple, des suites de changements de direction peuvent entraîner des variations de la trajectoire, la rapprochant de la frontière droite puis de la frontière gauche. Cette trajectoire doit être qualifiée d'inhabituelle. Il est donc indispensable de définir des mesures de

similarité entre trajectoires. (Lee et *al.* 2008) et (Pelekis et *al.* 2007) ont défini des mesures de similarité. Or, ces dernières ne traitent que de l'aspect géographique. Qui plus est, les distances proposées ne tiennent pas compte du contexte. Une distance de 10 m dans un espace de 15 m de large est grande or la même distance dans un espace de 1 000 m de large est relativement faible. De même, il est plus facile de prendre du retard que de l'avance. Nous proposons de définir trois mesures de similarité géographique et trois mesures de similarité temporelle basées sur un appariement entre une trajectoire et une trajectoire médiane.

3.1 Appariement de trajectoires

L'appariement de trajectoires consiste à définir des couples de positions entre des trajectoires partant de la même origine et ayant la même destination. Ce processus définit des couples de positions. Plusieurs options sont possibles pour appairer :

- Appariement des positions au même temps relatif (durée depuis le départ), ce choix donne de mauvais résultats si les vitesses sont dissemblables,
- Appariement des positions au même temps relatif normalisé, ce choix ne permet pas d'appairer des trajectoires partielles, non encore terminées,
- Appariement des positions selon le dynamic time warping (DTW) (Sakoe et Chiba 1978). Ce processus issu du traitement du signal donne de bons résultats, mais ne peut pas être employé pour des trajectoires partielles,
- Appariement des positions selon la distance de Fréchet discrète (Mascret et *al.* 2006). Ce processus d'appariement fournit des couples proches de ceux définis par le DTW et est employable pour des trajectoires partielles.
- Appariement des positions selon la droite perpendiculaire au cap (DPC), consiste à relier une position d'une trajectoire avec la position de l'autre trajectoire qui intersecte la DPC de la première. Cette méthode est rapide et est employable pour des trajectoires partielles, par contre elle n'est pas symétrique. Contrairement aux techniques précédentes, les positions de la trajectoire appariée sont interpolées.

La figure 5 illustre les 5 méthodes possibles d'appariement pour des trajectoires de deux navires. Les couples de positions appariées sont reliées. Une des deux dernières méthodes doit être retenue. Pour l'appariement d'une trajectoire avec une trajectoire médiane, le rôle de ces deux éléments n'étant pas symétrique, l'appariement selon la DPC est retenu. Qui plus est, cette technique (DPC) est déjà employée pour définir les bornes du patron spatio-temporel. Pour cet appariement chaque position appariée n'apparaît que dans un seul couple.

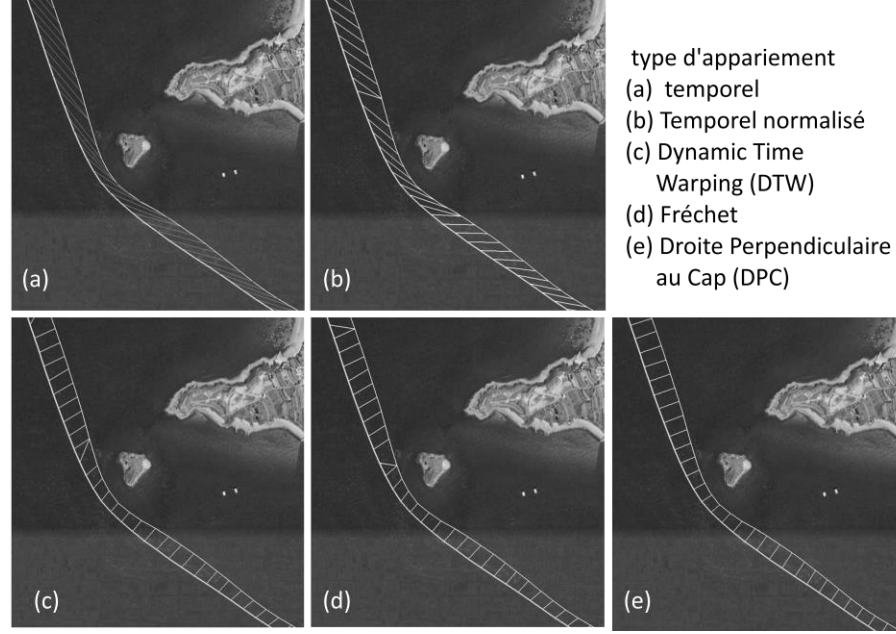


Figure 5. Couples des positions appariées de deux trajectoires selon les 5 méthodes proposées

3.2 Similarité géométrique de trajectoires

Une fois les couples de positions définis par le processus d'appariement, des mesures de similarité tenant compte du contexte peuvent être calculées. Le processus proposé se focalisant sur la comparaison d'une trajectoire d'un GHT avec la route type associée, il est possible de normaliser les distances géométriques en fonction de l'écart spatial toléré (EST_j) à cette position médiane PM_j . De même, l'ESDT et l'ESGT étant différents, l' EST_j est $ESDT_j$ si la position est à droite et $ESGT_j$ sinon. Le processus d'appariement entre la trajectoire T (suite ordonnée de positions P_i) et la trajectoire médiane TM (suite ordonnée de PM_j) renvoie une suite de couple (P_i, PM_j) . Les mesures entre P_i et PM_j sont exprimées relativement par rapport à l' EST en PM_j . La distance géométrique normalisée entre deux positions appariées est donc :

$$d_{GN}(P_i, PM_j) = \frac{d(P_i, PM_j)}{EST_j}$$

Afin de distinguer la position relative de P_i par rapport à la TM , les distances normalisées sont notées positivement à gauche et négativement à droite. La largeur EST_j est variable. Ainsi, pour la figure 6, deux distances normalisées en fonction de

la largeur du couloir : 110% pour une position légèrement à l'extérieur et 72% pour une position à l'intérieur correspondent à deux distances absolues identiques.

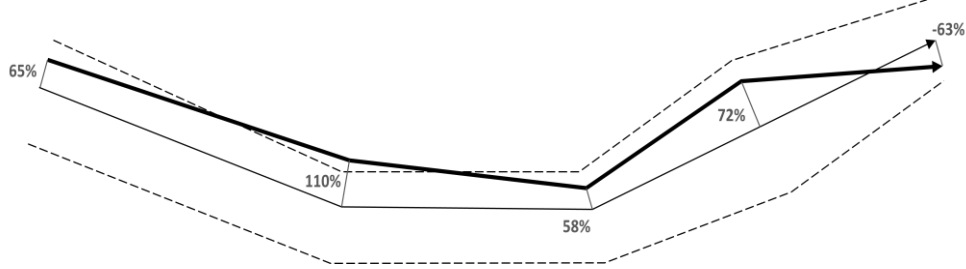


Figure 6. Couples des positions appariées d'une trajectoire avec une trajectoire médiane, les distances sont exprimées en fonction de la largeur du couloir et du côté

Pour la similarité géométrique, trois mesures ont été retenues :

- la distance géométrique maximale : **DGM**

$$DGM(T, TM) = \text{Max}(|d_{GN}(Pi, PMj)|)$$

- la distance géométrique moyenne : **DGm**

$$DGm(T, TM) = \text{Moyenne}(|d_N(Pi, PMj)|)$$

- la moyenne des deltas géométriques : **ΔGm**,

$$\Delta Gm(T, TM) = \frac{\sum_{n=1}^n |d_{GN}(Pi, PMj) - d_{GN}(Pi + 1, PMj + 1)|}{n - 1}$$

DGM représente l'écart géométrique maximal entre des positions appariées, la deuxième l'écart moyen. La troisième mesure représente les variations entre les écarts successifs et renseigne sur un écart de forme entre les deux trajectoires. Pour l'exemple de la figure 6 :

- la DGM vaut 110%, ce qui signifie que la trajectoire est sortie de 10% du couloir au pire.
- la DGm vaut 73,6% $((65\% + 110\% + 58\% + 72\% + 63\%) / 5)$, ce qui signifie que la trajectoire est en moyenne à une distance de 73,6% de la trajectoire moyenne par rapport à l'écart spatial toléré.
- la ΔGm vaut 61,5% $(|65\% - 110\%| + |110\% - 58\%| + |58\% - 72\%| + |72\% - 63\%|) / 4$, ce qui signifie que l'écart entre la TM et la T varie de manière importante.

Il faut noter que ces mesures sont calculées de manière discrète, uniquement aux positions PMj. La trajectoire médiane étant filtrée, les positions conservées sont les plus significatives en termes de direction et de changement de vitesse, elle surestime donc les mesures par rapport à une approche continue.

Afin d'illustrer l'intérêt de ses trois mesures, la figure 7 donne 3 exemples de couple de T, TM. Pour le couple (a), la DGM et la DGm sont très proches, mais non

nulles et la ΔGm est proche de zéro. Ces valeurs décrivent un couple de trajectoires décalées et ayant des formes très similaires. Pour le couple (b), la DGM est assez faible et la ΔGm est faible. Par contre, la ΔGm est importante. Ces valeurs décrivent des trajectoires assez proches, mais ayant des formes dissimilaires. Finalement, le couple (c) a une DGM importante, une DGM et ΔGm faible. Ces trajectoires sont donc la plus part du temps assez proche. Cependant, un écart important sur une courte longueur est présent.

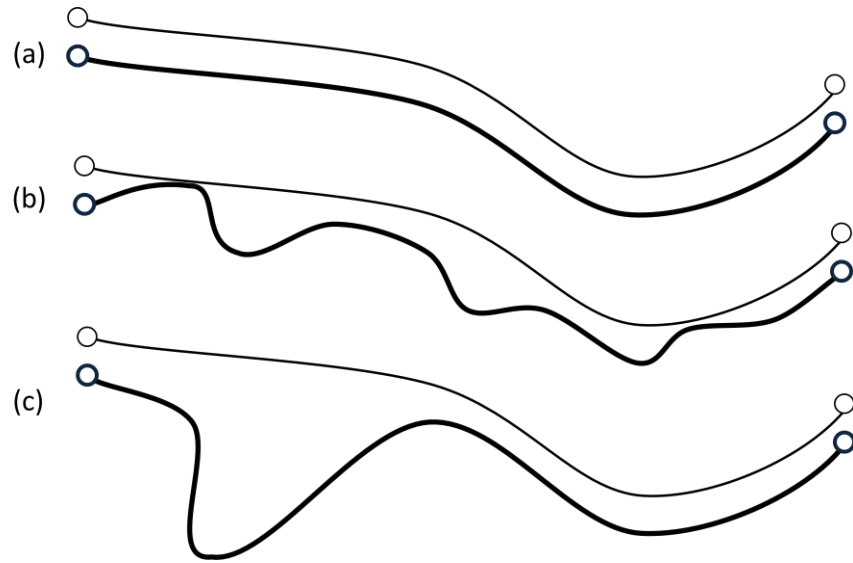


Figure 7. Exemple de trois trajectoires (trait épais) associées à la même trajectoire médiane (trait fin)

Ces 3 mesures spatiales sont complétées par 3 mesures temporelles ayant des significations proches.

3.3 Similarité temporelle de trajectoires

Pour l'aspect temporel, les 3 mesures proposées reflètent de même la distance temporelle maximum (DTM) l'écart moyen (DTm) et la moyenne des deltas temporels (ΔTm). Ces mesures s'appuient sur la distance temporelle normalisée d_{TN} :

$$d_{TN}(Pi, PMj) = \frac{ET(Pi, PMj)}{ETTj}$$

L'ET correspond l'écart en seconde entre les estampilles temporelles relative (durée depuis le départ) entre les positions appariées. Cet écart est normalisé en fonction de l'écart temporel toléré. Ce dernier est égal au retard toléré (ETRT noté négativement) si l'estampille temporelle de Pi est supérieure à celle de PMj ou à l'avance tolérée (ETAT noté positivement) sinon.

Nous disposons donc de 6 mesures de similarité. Ces mesures sont complémentaires et donc toutes indispensables. Cependant, proposer 6 mesures aux opérateurs n'est pas envisageable, trop d'informations seraient présentes pour chaque objet mobile et donc surchargeraient l'opérateur de surveillance.

4. Indice de similarité et logique floue

Afin de définir un indice unique, deux approches sont possibles. La première possibilité consiste à agréger les 6 mesures à l'aide d'une somme pondérée. Cette solution n'est pas optimum, elle a le défaut de renvoyer un résultat trop lisse et de ne pas correspondre exactement au jugement humain. La deuxième, plus pragmatique et proche du raisonnement humain, est basée sur la logique floue (Zadeth 1965). Elle a été retenue, car elle permet de s'appuyer sur des règles floues exprimées en langage naturel décrivent la similarité. Par exemple, les deux règles floues suivantes sont exprimées pour la partie géométrique :

R1 : Si l'écart géométrique maximum est petit alors la similarité est forte.

R2 : Si la forme de la trajectoire est très différente de celle de la trajectoire médiane, alors la similarité est faible en d'autres termes si la ΔG_m est grande alors la similarité est faible.

D'autres règles doivent être ajoutées pour prendre en compte l'ensemble des critères de similarités spatiales et temporelles. Pour pouvoir raisonner avec ce type de règles floues, la première étape consiste à transformer les valeurs des 6 distances mesurées en valeurs qualitatives linguistiques. Cette étape s'appelle : "**Fuzzification**". Des ensembles flous et des fonctions d'appartenance sont définis. Les trois figures suivantes illustrent cette étape. Pour la DGM, la figure 8 fournit les trois ensembles flous associés à la DGM (petite, moyenne et grande) et les fonctions d'appartenance. Par exemple, si cette distance est de 110%, cette valeur appartient à 80% à l'ensemble DGM petite et à 20% à l'ensemble DGM moyenne.

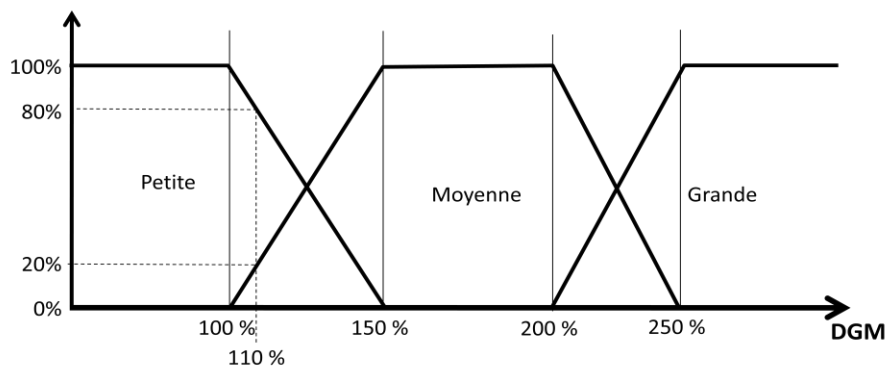


Figure 8. Les trois ensembles flous et les fonctions d'appartenance pour la Distance Géographique Maximum (DGM)

La figure 9 exprime les trois valeurs associées à la ΔGm .

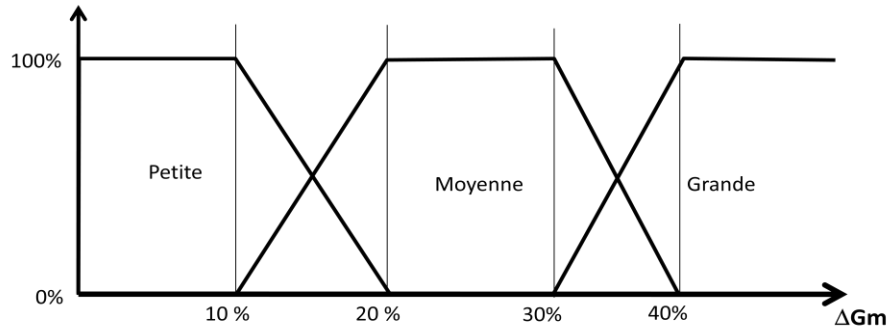


Figure 9. Les trois ensembles flous et les fonctions d'appartenance pour la moyenne géographique des deltas (ΔGm)

La figure 10 se focalise sur les valeurs associées à la similarité (faible, moyenne et forte) entre des trajectoires. Deux trajectoires identiques ont une similarité égale à 1. Deux trajectoires très différentes ont une similarité proche de 0. Les valeurs et les fonctions associées aux 4 autres mesures ne sont pas détaillées dans cet article.

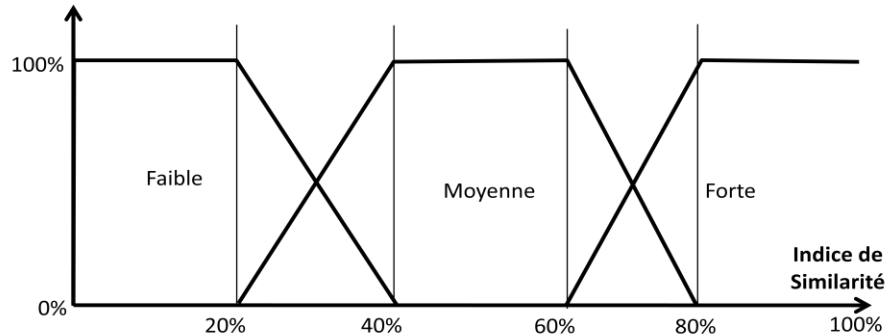


Figure 10. Les trois ensembles flous et les fonctions d'appartenances associés à l'indice de similarité entre une trajectoire et une trajectoire médiane

La deuxième étape : **l'inférence floue** consiste à raisonner de manière approximative avec les règles floues en partant du principe que : "plus la condition sur les entrées est vraie plus la règle doit être appliquée". Une règle est activée uniquement si ses prémisses ont une valeur de vérité non nulle.

Supposons que nous ayons pour valeur pour la DGM 110% et pour la ΔGm de 35% ce qui équivaut à une trajectoire qui ne s'écarte pas trop de la trajectoire

médiane mais qui n'a pas une forme proche de la trajectoire médiane (telle la figure 7.b). La règle R1 est vraie à 80% (DGM appartenant à 80% à l'ensemble flou "petite"). La similarité selon cette règle est forte à 80 % (voir figure 11).

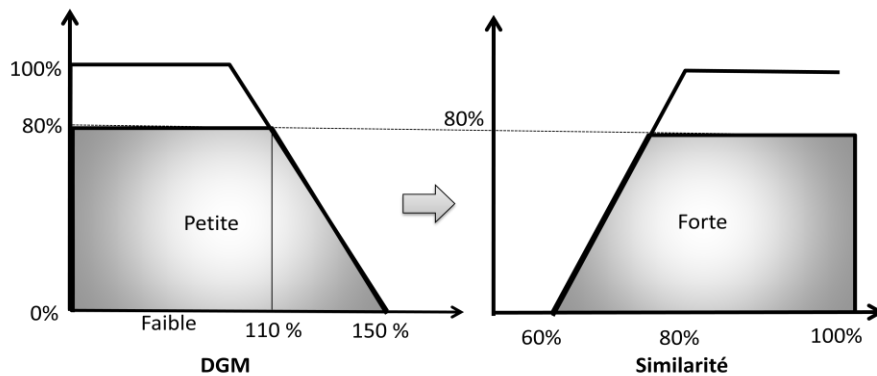


Figure 11. Application de la règle R1 qui est vraie à 80%

De même pour la règle R2, elle est vraie à 50 % (ΔG_m appartenant à 50% à l'ensemble flou "grande"). Donc la similarité selon cette règle est faible à 50%.

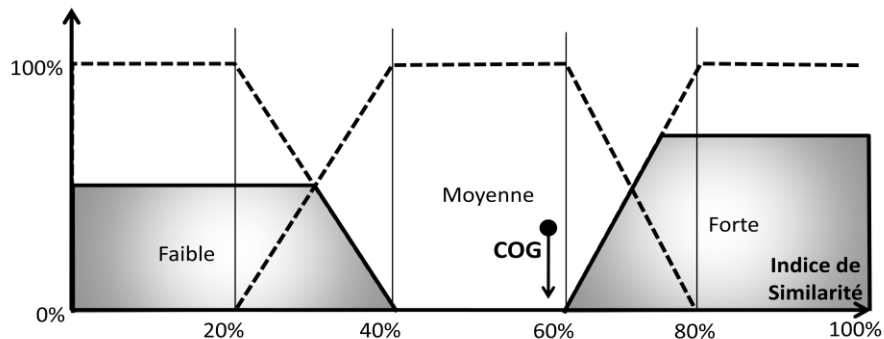


Figure 12. Calcul du centre de gravité

La troisième et dernière étape : la "**défuzzification**" consiste à transformer ces appartenances à des ensembles flous (valeurs qualitatives) à une valeur quantitative interprétable par l'utilisateur, dans notre cas : l'indice de similarité. Pour cela nous avons retenu la méthode du centre de gravité (COG). Elle consiste à calculer le centre de gravité de la surface cumulée des fonctions d'appartenance et à projeter ce centre sur l'axe des abscisses. Pour notre exemple, et nos deux règles, la similarité

est forte à 80 % selon la règle R1 et faible à 50% selon la règle R2. Le centre de gravité projeté renvoie un indice de 58% (voir figure 12).

Il est donc possible à l'aide de ces 6 mesures, de ces règles d'inférence floue et des fonctions d'appartenance d'obtenir un indice de similarité. Plus l'indice est fort, plus les trajectoires sont similaires. Cet indice est plus proche de la perception humaine qu'un indice renvoyé par une somme pondérée. Il est donc fort utile dans le contexte de l'analyse de trajectoires inhabituelles. Il doit être employé de manière complémentaire à l'analyse de positions. Une étude est nécessaire pour optimiser la visualisation de cet indice à l'opérateur afin de ne pas surcharger l'affichage des positions et des trajectoires.

5. Conclusion

Dans cet article, nous avons présenté une technique de fouille de données spatio-temporelles. Elle permet pour chaque itinéraire d'extraire une route type à partir d'un groupe homogène de trajectoires d'objets mobiles de même type. Ce patron est composé d'une trajectoire médiane et de couloirs spatio-temporels. Ce patron est très utile pour qualifier, en temps réel, une nouvelle position d'un objet suivant cet itinéraire. Ainsi, les opérateurs de surveillance du trafic disposent d'un outil d'aide à la surveillance réduisant la charge cognitive en focalisant l'attention de ces derniers sur les objets ayant des trajectoires inhabituelles. Pour aller plus loin, un indice de similarité entre une trajectoire et la route type a été défini. Il permet, à partir de 6 mesures temporelles ou spatiales et la logique floue, de mesurer la similarité entre ces deux éléments.

En ce qui concerne l'analyse de positions, cet outil a été validé à partir d'une base de données volumineuse des déplacements de navires dans la zone de Brest. Pour la comparaison de trajectoires, cette partie demande encore à être affinée puis validée.

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 lié au comportement des objets mobiles. Ce type de bases appelées bases de données inductives permettent en manipulant simultanément les données et les connaissances d'analyser le comportement des objets mobiles et de poser des requêtes de plus haut niveau.

Plusieurs travaux futurs dans ce domaine restent à réaliser. Premièrement, les parties définition d'indice de similarité et analyse de trajectoires doivent être consolidées. De plus, pour fournir une interface adaptée aux opérateurs, une étude de sémiologie graphique doit être menée afin d'afficher les informations de similarité de manière optimum. Finalement, ces travaux doivent être testés sur d'autres thématiques telles l'analyse des déplacements des piétons ou les migrations d'animaux.

Bibliographie

- Bertrand, F., Bouju, A., Claramunt, C., Devogele, T. and Ray, C. (2007) Web and Wireless Geographical Information Systems. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4857, Springer Berlin /Heidelberg, chapter Web Architecture for Monitoring and Visualizing Mobile Objects in Maritime Contexts, pp. 94–105.
- Etienne L., Devogele T., Bouju A. (2009) Analyse de similarité de trajectoires d'objets mobiles suivant le même itinéraire : Application aux trajectoires de navires, *Revue Ingénierie des Systèmes d'Information (ISI)*, numéro thématique Systèmes d'information et géolocalisation, Hermès, vol. 14, num.5, pages 85-106
- Lee J., Han J., Li X. (2008) « Trajectory Outlier Detection: A partition-and-Detect Framework », ICDE 2008. IEEE 24th International Conference on Data Engineering.
- Kharrat A., Popa I. S., Zeitouni K., Faiz S. (2008), « Clustering Algorithm for Network Constraint Trajectories », Proc. 13th International Symposium on Spatial Data Handling, Montpellier, France.
- Knorr E. M., Ng R. T., Tucakov V. (2000) « Distance based outliers: algorithms and applications », VLDB Journal, vol. 8, n° 3, pp. 237-253.
- Mascaret A., Devogele T., Le Berre I., Hénaff A. (2006) Coastline Matching Process based on the discrete Fréchet distance - In Proceedings of the 12th International Symposium on Spatial Data Handling (SDH), W. Kainz, A. Reidl, and G. Elmes (eds.), Vienna, Austria, Springer-Verlag, pages 383-400
- Mefteh W., Bouju A., Malki J. (2008) « Vers un modèle générique des trajectoires », Proc. Manifestation des Jeunes Chercheurs en Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication, Marseille, France.
- Pelekis N., Kopanakis I., Ntoutsi I., Marketos G., Andrienko G. and Theodoridis Y., (2007) "Similarity Search in Trajectory Databases", In the Proceedings of the 14th IEEE International Symposium on Temporal Representation and Reasoning (TIME 2007), Alicante, Spain.
- Sakoe, H. et Chiba, S. (1978) *Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition*, IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing, **26**(1) pp. 43-49, 1978, ISSN: 0096-3518
- Wan T., Zeitouni K., Meng X. (2007) « An OLAP System for Network-Constrained Moving Objects », Proc. 22nd Annual ACM Symposium on Applied Computing, Seoul, Korea, pp. 13-18.
- Zadeh, L. A. (1965) "Fuzzy sets". Information and Control, vol. 8, num. 3, pages 338–353.