

De multiples applications pour l'analyse des données AIS (Automatic Identification System) et la géovisualisation interactive de données

Par Damien LE GUYADER
et Matthieu LE TIXERANT
Terra Maris

La mise en œuvre de la Planification de l'espace maritime (PEM) nécessite de disposer de données pertinentes. Le déroulement spatio-temporel des usages maritimes et les interactions conflictuelles ou synergiques entre activités constituent des éléments de connaissance indispensables, mais ils sont particulièrement délicats à obtenir dans le milieu marin. Cet article présente synthétiquement une série de méthodes et de résultats obtenus dans le cadre de plusieurs projets de recherche opérationnelle. L'objectif est d'illustrer comment l'analyse des données de l'Automatic Identification System (AIS) peut produire des informations adaptées à la PEM à différents niveaux scalaires pour caractériser le trafic maritime (couloirs de navigation, réseau hiérarchisé de routes maritimes), la pêche maritime (zones et intensités supposées de pêche) et les interactions entre usages. Des exemples élémentaires de géovisualisation interactive de l'information produite sont proposés dans la perspective de faciliter l'analyse exploratoire des résultats.

Introduction

La croissance rapide de la consommation des espaces maritimes est liée à une tendance globale à la multiplication, à la diversification et à l'intensification des usages et activités humaines en mer (Christie *et al.*, 2014). Cette tendance se manifeste notamment par la croissance du trafic maritime, les pratiques de pêche maritime, l'exploration et l'exploitation du pétrole et du gaz, le développement des activités de loisirs ou encore l'essor des énergies marines renouvelables (EMR). Cette multitude d'activités crée un jeu complexe d'interactions pouvant conduire à des risques environnementaux (Halpern *et al.*, 2008) et à des conflits d'usage (Jones *et al.*, 2016). Les pressions multiples qui s'exercent sur les ressources côtières et la nécessité d'harmoniser les usages de la mer rendent donc nécessaire une approche intégrée de la planification et de la gestion de ces espaces. En juillet 2014, le Parlement et le Conseil européens ont adopté une législation pour la planification de l'espace maritime (directive PEM 2014/89/UE), dont l'objectif est de contribuer à une gestion intégrée

efficace des activités maritimes et à l'utilisation durable des ressources marines et côtières. Une des clés du succès de sa mise en œuvre est de pouvoir disposer de données pertinentes, interopérables et exploitables dans un contexte opérationnel. Le déroulement spatio-temporel des usages maritimes et les interactions conflictuelles ou synergiques entre activités constituent des éléments de connaissance indispensables (Ehler, 2009), mais ils sont particulièrement délicats à obtenir dans le milieu marin (Le Tixerant *et al.*, 2010). Cette information a été identifiée comme lacunaire au sein des systèmes d'information développés par les acteurs maritimes (St. Martin et Hall-Arber, 2008). Elle est aujourd'hui toujours difficile à obtenir et constitue donc un enjeu majeur pour la mise en œuvre de la PEM.

Depuis 2002, le système d'identification automatique (*Automatic Identification System* – AIS) a été rendu obligatoire par l'Organisation maritime internationale : il permet de localiser précisément tout navire qui en est équipé. La mise à disposition relativement récente de données

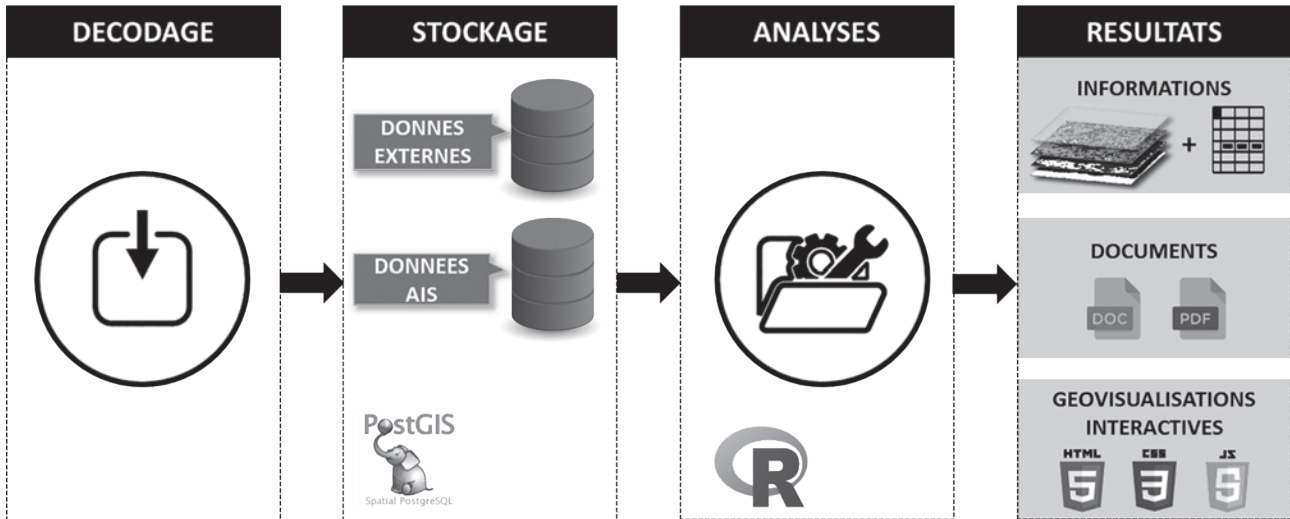


Figure 1 : Représentation schématique du processus d'analyse des données AIS.

archivées, couvrant la quasi-totalité des mers côtières et hauturières grâce au développement de l'AIS satellitaire, constitue une ressource très utile dans le domaine de l'océanographie opérationnelle (Koehn *et al.*, 2013). En effet, l'analyse de données issues de l'AIS renseigne sur la distribution spatiale et temporelle des activités de navigation (Shelmerdine, 2015) ou de pêche maritime (McCauley *et al.*, 2016). Ces données sont en outre exploitées dans le cadre d'applications spécifiques, telles que le suivi du comportement des navires en temps réel (Pallotta *et al.*, 2013), l'évaluation des risques liés aux infrastructures (câbles sous-marins, centrales nucléaires littorales...), l'estimation des courants marins (Guichoux *et al.*, 2016), des polluants chimiques (Jalkanen *et al.*, 2014) et la mesure des émissions sonores (Coomber *et al.*, 2016) générées par le trafic maritime.

Après un rappel des principales caractéristiques de l'AIS, cet article présentera une série de méthodes et de résultats obtenus dans le cadre de plusieurs projets de recherche opérationnelle mis en œuvre par les auteurs dans des contextes divers (Le Tixerant *et al.*, 2018).

Présentation synthétique de l'AIS

L'AIS, devenu obligatoire dans le cadre de la convention SOLAS ⁽¹⁾, est développé dans un objectif d'aide à la sécurité de la navigation et permet une géolocalisation en temps réel des navires émetteurs. À l'échelle de l'Union européenne, ces obligations ont été transcrites dans la directive 2002/59/CE relative à la mise en place d'un système d'information communautaire de suivi du trafic maritime. Tous les navires de transport de passagers, les navires de charge d'une jauge brute égale ou supérieure à 300 tjb (tonneaux de jauge brute) ⁽²⁾ et les navires de pêche d'une longueur supérieure à quinze mètres sont soumis à l'obligation d'embarquer un AIS. L'AIS délivre trois catégories d'informations : des informations statiques qui identifient le navire émetteur, des informations dynamiques qui rendent compte de sa position et de son déplacement et des informations spécifiques relatives au trajet effectué. Différents portails en ligne ⁽³⁾ permettent

une visualisation du positionnement des navires en temps réel ainsi que de cartes de densité du trafic maritime. Ces portails offrent aussi la possibilité d'acquérir des données archivées et prétraitées pour une zone et une période définies. Dans certains contextes nécessitant de disposer d'une meilleure résolution temporelle, l'exploitation de la donnée brute produite par l'AIS (format NMEA) peut être nécessaire, car les positions des navires ne sont pas rééchantillonnées dans le temps (jusqu'à 2 secondes contre 3 minutes minimum dans le cas de données prétraitées).

Processus général d'analyse des données AIS

L'exploitation des données AIS archivées relève de l'analyse des déplacements d'objets mobiles (Güting *et al.*, 2000). Les analyses sont réalisées en quatre étapes successives (voir la Figure 1 ci-dessus). Dans le cas d'acquisition de données brutes, une première étape de décodage des trames AIS, puis d'importation et de structuration de celles-ci dans une base de données (PostgreSQL/PostGIS) est nécessaire. Les données AIS peuvent être associées à des données complémentaires de natures variables selon le contexte. Une correction des anomalies est ensuite réalisée (suppression des positions localisées à terre, des signaux dupliqués ou incomplets...). Selon les objectifs poursuivis, ces données sont traitées par analyses spatio-temporelles réalisées sous R. Les informations produites sont associées à des fichiers au format Markdown, ce qui permet de documenter les résultats. Enfin, différents supports dynamiques et interactifs de représentation (carto)graphique de l'information géographique (et temporelle) sont produits dans la perspective

(1) Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer, chapitre V, règle 19.

(2) Des exemptions sont possibles, sous conditions, pour les navires de charge inférieure à 500 tjb dédiés au cabotage national et les navires de transport de passagers d'une longueur inférieure à quinze mètres ou d'une jauge brute inférieure à 300 tjb effectuant des voyages domestiques.

(3) MarineTraffic, FleetMon, AISlive ou Vessel Finder.

de faciliter la compréhension des résultats et de favoriser leur analyse exploratoire.

Caractériser le trafic maritime

La caractérisation de la distribution spatio-temporelle de la densité de différents descripteurs relatifs aux activités humaines, à partir de données AIS, est désormais courante. Cependant, il est parfois difficile d'en identifier le motif spatial (*spatial pattern*).

Dans l'objectif d'aboutir à une vision synthétique du trafic maritime, la mise en évidence des principaux couloirs de navigation représente un enjeu de premier plan. Ainsi, une méthode mobilisant la densité de noyau a été développée et testée en rade de Brest afin de discrétiser des zones correspondant à une densité significative du trafic maritime (Le Guyader *et al.*, 2012). Cette méthode s'avère efficace, mais elle nécessite l'identification de groupes de trajectoires homogènes (homogénéité relative des points de départ, des points d'arrivée et d'emprise spatiale). L'identification de ces groupes peut être réalisée à partir de différentes mesures des dissimilarités entre les trajectoires (Hausdorff, Fréchet, DTW), dont le calcul est contraint dans le cas de données massives.

Afin d'accéder à un échelon supérieur dans le degré d'information, le concept d'« autoroutes de la mer » déterminé sur la base d'une hiérarchisation des routes maritimes (réseau primaire, secondaire, tertiaire...) est mis en avant dans différents projets de PEM. L'objectif est d'aboutir à une vision spatialisée synthétique des principales routes et de l'intensité du trafic associé. Des travaux impliquant le développement d'un algorithme spécifique sont en cours pour identifier, à partir de la densité des

trajectoires, un réseau spatialisé et hiérarchisé de routes maritimes. La méthode de constitution du réseau repose sur l'identification automatique de nœuds (ports et points d'intérêt entrants et sortants) et de tronçons ou liens définis comme les chemins de moindre contrainte entre les nœuds. La contrainte spatialisée est définie par une couche de friction composite dépendant de la distribution de la densité des trajectoires et des réseaux hiérarchiques de Strahler (1957). De premiers tests sont actuellement réalisés en Manche (voir la Figure 2 ci-après).

Décrire l'activité de pêche

Des estimations fines de l'effort de pêche sont nécessaires afin de caractériser les impacts potentiels de certains métiers sur les habitats marins, et d'apporter des informations pertinentes pour la gestion des ressources. Dans ce domaine, le VMS (Vessel Monitoring System) constitue la donnée de référence. Le VMS fournit des rapports sur la position d'un navire à des intervalles de temps réguliers. Pour des raisons de confidentialité, l'accès aux données VMS brutes est très restreint (Lee *et al.*, 2010). La disponibilité des données AIS archivées ouvre donc des opportunités de recherche pour spatialiser les activités de pêche à différentes échelles (McCauley *et al.*, 2016 ; Vespe *et al.*, 2016). Cependant, les données AIS ne comportent pas d'informations permettant de connaître le métier pratiqué par les navires ou de savoir si un navire est en action de pêche (utilisation effective de l'engin) ou non (transit, mouillage, dérive...). Leur exploitation dans ce contexte implique le recours à des méthodologies spécifiques, mobilisant des données hétérogènes et adaptées à l'échelle d'analyse.

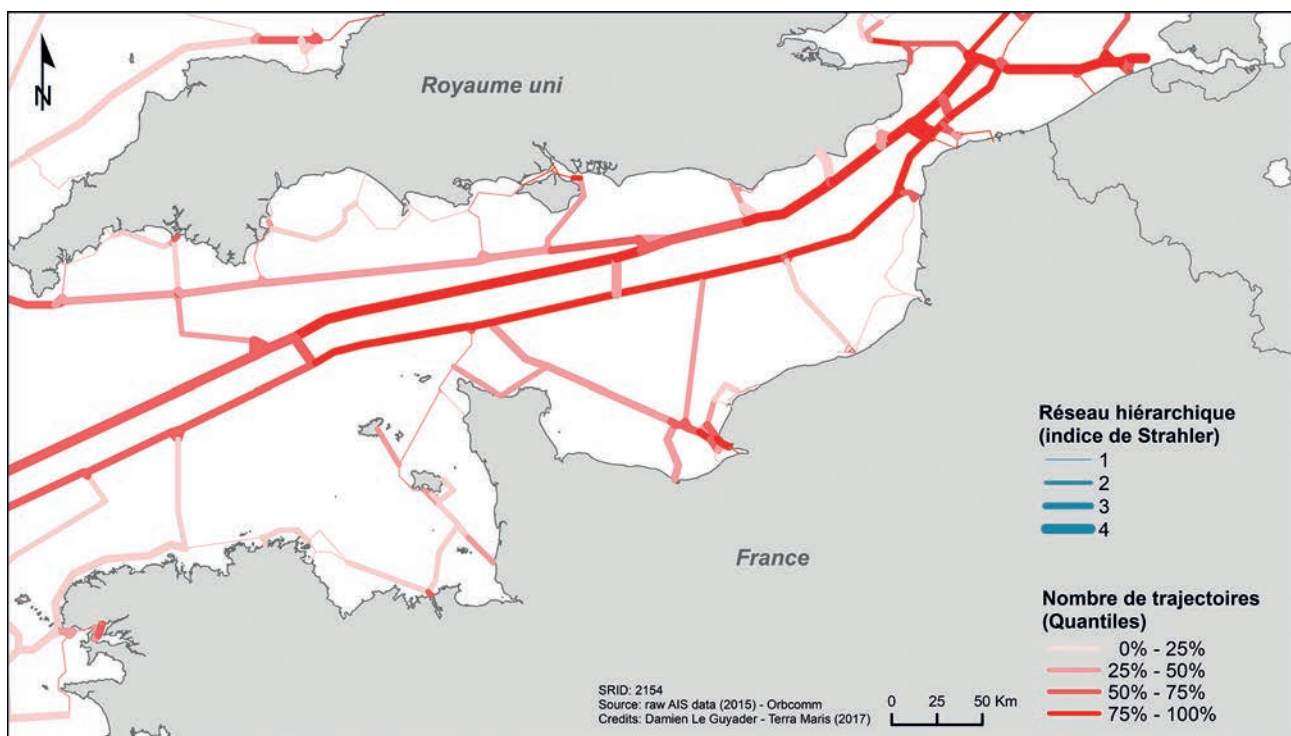


Figure 2 : Réseau spatial hiérarchique des routes maritimes en Manche. Une application cartographique est consultable en ligne : http://doc.terramaris.fr/DLG/ais_network/network.html

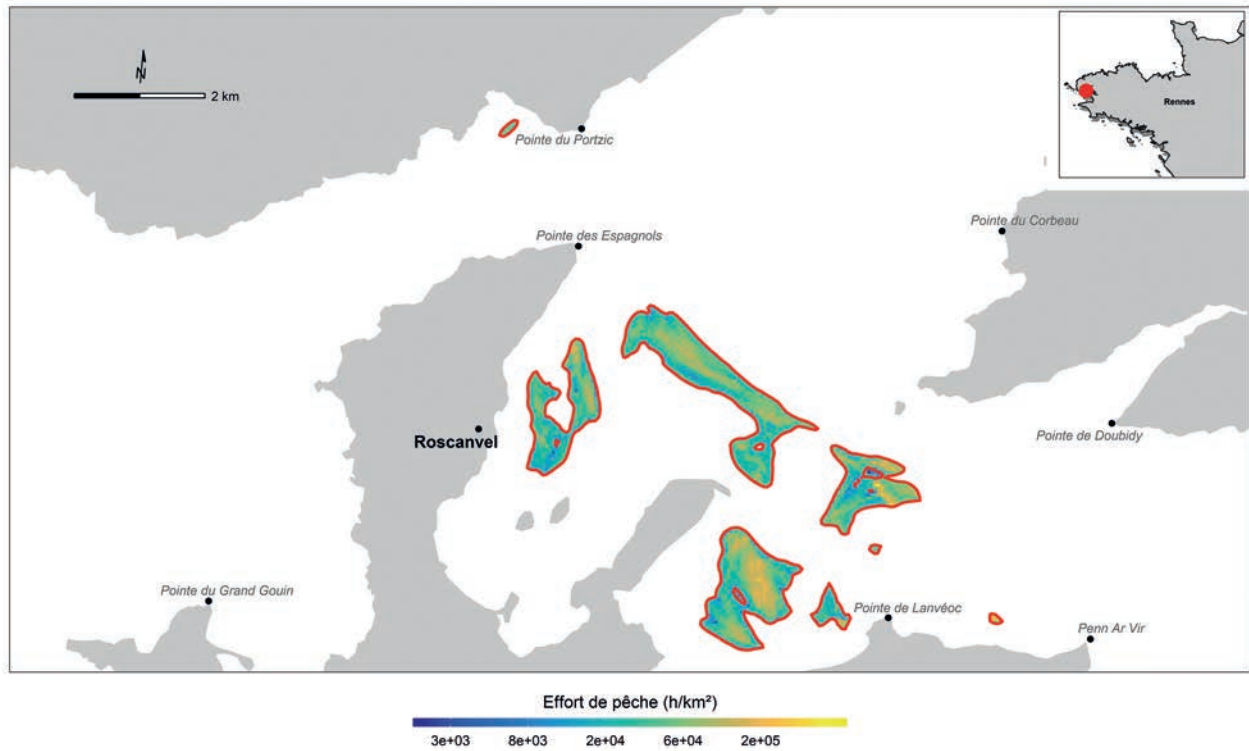


Figure 3 : Distribution annuelle de l'effort de pêche des navires supposés pratiquer la pêche à la coquille Saint-Jacques (Le Guyader et al., 2017). Une application cartographique élémentaire est consultable en ligne : http://doc.terramaris.fr/DLG/CSJ/csj_rdb.html

Une étude portant sur la cartographie semi-automatique des zones de pêche à la drague et sur la caractérisation de l'intensité de cette pratique à partir de données AIS a été menée en rade de Brest (Le Guyader et al., 2017) (voir la Figure 3 ci-dessus). La méthode recouvre quatre étapes : 1) structurer une base de données AIS ; 2) identifier pour chaque navire le métier pratiqué quotidiennement à partir de données de débarquement ; 3) estimer les positions supposées des navires en action de pêche à partir de la distribution des vitesses des navires ; et 4) identifier les zones de pêche et estimer l'intensité de la pratique. La performance de la méthode a été évaluée par comparaison aux positions GPS annotées de deux navires volontaires lors d'une marée. Ces travaux ont montré que l'AIS pouvait constituer une ressource complémentaire aux autres sources d'information plus classiquement utilisées (VMS, données d'enquêtes) et fournir des connaissances fines du déroulement de l'activité de pêche côtière à l'échelle locale.

Évaluer les interactions entre usages

Les données AIS permettent de contribuer à l'évaluation des interactions entre les usages dans le milieu marin (conformité des usages à la réglementation, évaluation des risques, conflits d'usage).

L'évaluation de l'adéquation des mesures réglementaires en vigueur avec les activités observées à partir de données objectives, constitue l'un des besoins identifiés par les gestionnaires de l'espace marin (Le Guyader et al., 2016). Une étude menée à une échelle locale a mis en perspective les couloirs de navigation réellement utilisés par les tankers au regard des chenaux réglementés d'accès au

port (Le Guyader et Ledoux, 2015) (voir la Figure 4 A de la page suivante). Ces résultats d'un grand intérêt pour les gestionnaires de l'espace maritime permettent potentiellement une adaptation des mesures réglementaires aux pratiques ou une révision des mesures adoptées en matière de surveillance et de contrôle.

Dans un objectif d'évaluation des risques, l'identification des positions proximales des navires transitant aux abords d'infrastructures émergées ou situées sur le littoral peut s'avérer nécessaire. Une étude a été réalisée pour estimer à partir des données de l'AIS le risque lié au transit de navires transportant des matières dangereuses à proximité d'installations sensibles érigées sur le littoral (par exemple, des centrales nucléaires, des dépôts pétroliers...) (Le Guyader, 2016). Dans le cas d'un projet d'infrastructure immergée (par exemple, la pose d'un câble sous-marin), l'exploitation de la donnée de l'AIS peut permettre de procéder à une analyse des risques liés au mouillage des navires et, plus précisément, aux éventuels ripages d'ancre en cas de conditions météorologiques défavorables (Le Guyader et Ledoux, 2015) (voir la Figure 4 B de la page suivante).

Les conflits potentiels d'usage de l'espace maritime pour y exercer des activités anthropiques sont classiquement caractérisés par la superposition spatiale des zones de pratique des activités considérées (European MSP Platform, 2016). Or, l'absence de prise en compte de la dynamique temporelle peut s'avérer particulièrement problématique en mer, puisque certaines activités peuvent être exercées au même endroit mais pas au même moment, justifiant dès lors la nécessité d'opérer une distinction entre les interactions spatiales et les interactions spatio-temporelles.

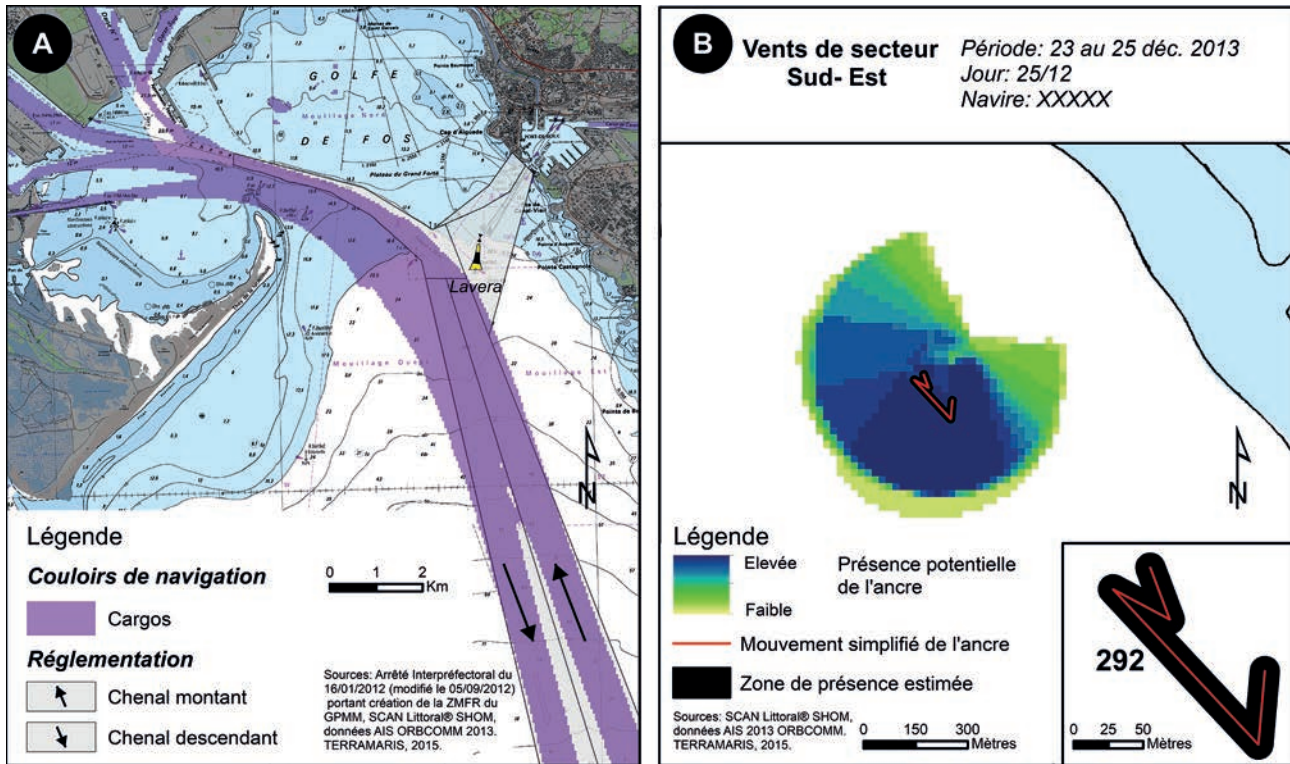


Figure 4 : A) Canaux empruntés par les cargos pour entrer dans le golfe de Fos par rapport aux accès réglementés et B) Estimation de la position potentielle des ancrages des navires au mouillage en cas de conditions météorologiques défavorables.

En effet, il a été démontré dans le cadre d'une étude réalisée en rade de Brest, que la prise en compte de la dimension temporelle pour servir à l'analyse des interactions spatiales entre les activités y étant exercées se traduisait par une amélioration significative de l'information apportée, avec un taux de divergence de 70 % par rapport à une étude réalisée en ne tenant compte que de la seule dimension spatiale (Le Guyader, 2012). La mise en évidence des interactions spatio-temporelles entre les différents usages observés en mer implique de combiner l'AIS à d'autres types de données (données réglementaires, données « à dire d'acteurs », données d'observation...) au sein d'une base d'information spatio-temporelle. Son exploitation vise à identifier, à quantifier et à spatialiser les interactions potentielles entre les différentes activités maritimes recensées. Une base d'information spatio-temporelle a été structurée et décrit le déroulement des différentes activités observées en rade de Brest sur une année (2009), à un pas de temps quotidien (Le Guyader, 2012). Son analyse a permis, par exemple, d'établir une hiérarchie des interactions spatio-temporelles entre des activités pondérées par un indice qualitatif de compatibilité entre celles-ci, un indice élaboré à partir d'une enquête réalisée auprès des usagers (voir la Figure 5 de la page suivante) et de distinguer les activités ayant de fortes interactions (par exemple, le transport maritime civil et les activités nautiques encadrées) de celles caractérisées par de faibles interactions, voire aucune (par exemple, la plongée encadrée et les métiers de la drague).

Conclusion

L'exploitation des données de l'AIS archivées permet de caractériser le trafic maritime, selon les types de navire et

sur des périodes de temps variables, sous la forme d'informations complémentaires (densité des trajectoires, couloirs de navigation, réseau spatial hiérarchisé des routes maritimes). L'AIS peut constituer une ressource complémentaire aux données de référence pour caractériser la pêche maritime à haute résolution spatiale. En comblant certaines lacunes informationnelles, l'AIS contribue aussi à qualifier et à quantifier les interactions entre les différents usages de l'espace marin (conformité des usages à la réglementation, évaluation des risques, conflits d'usage). L'intégration des données de l'AIS au sein de systèmes d'information sur l'espace maritime représente donc un enrichissement indéniable permettant de délivrer des informations pertinentes à différents niveaux scalaires pour favoriser la concertation dans le cadre de la planification de l'espace marin.

La représentation de l'information issue de l'analyse de données spatio-temporelles portant sur des objets mobiles, à l'instar des données de l'AIS, constitue un champ de recherche dynamique favorisé par le développement constant de l'acquisition en temps réel de données géoréférencées par les systèmes de positionnement par satellite. Dans le domaine de la géovisualisation, l'offre de solutions techniques est très abondante. Ces solutions peuvent être classées en fonction du type d'architecture mis en œuvre pour le développement des applications. D'une part, certaines applications reposent sur une architecture serveur-client type Infrastructure de données spatiales (IDS). Elles nécessitent de disposer d'un serveur cartographique pour la manipulation statistique et spatiale des données géographiques et d'un client cartographique pour permettre leur affichage à partir de flux WMS

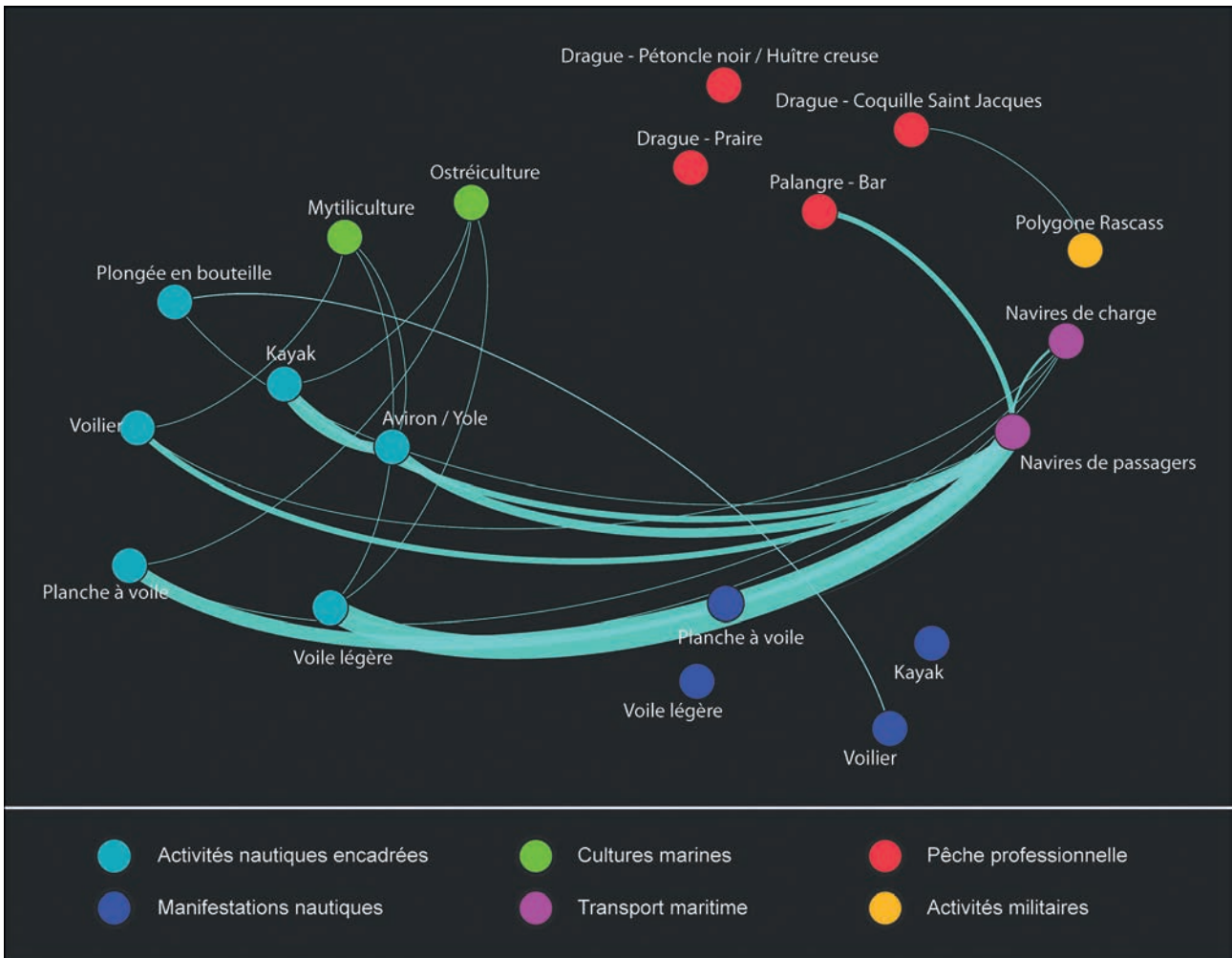


Figure 5 : Interactions potentiellement négatives estimées en 2009 entre les différentes activités, en rade de Brest. Les intersections spatio-temporelles non pondérées entre activités sont consultables en ligne via une application interactive : http://menir.univ-brest.fr/graph_ist_rade_web

et WFS via des solutions commerciales (ArcGis For Server, ArcGis Online), *open source* (GeoNode, GeOrchestra...) ou hybrides (Carto, MapBox). D'autre part, des applications constituées d'une architecture plus légère sont également disponibles. La visualisation de données spatiales stockées dans une base de données ou dans un fichier de format GeoJSON à partir d'un serveur Web couplé à des APIs cartographiques est possible. Pour réaliser nos travaux, nous avons opté pour cette dernière catégorie pour produire des applications élémentaires (nécessitant peu de fonctionnalités) destinées à l'analyse exploratoire des résultats. Elle présente l'avantage de permettre l'analyse des données et la production d'application au sein du même environnement (R) en mobilisant des outils gratuits, libres et ouverts. Pour lors, cette solution permet la production de géovisualisations, telles que des cartes animées, des graphiques interactifs, des cartes interactives et dynamiques (évolution temporelle). Sur le plan technique, la visualisation de données thématiques a-spatiales en interaction avec l'information géographique semble encore se limiter, pour cette solution, aux objets de type ponctuel⁽⁴⁾.

(4) http://doc.terramaris.fr/DLG/ESDA_BIGT/esda_bigt.html

Bibliographie

- CHRISTIE N. *et al.* (2014), "Co-location of activities and designations: A means of solving or creating problems in marine spatial planning?", *Marine Policy*, vol. 43, pp. 254-261.
- COOMBER F. G. *et al.* (2016), "Description of the vessel traffic within the north Pelagos Sanctuary: Inputs for Marine Spatial Planning and management implications within an existing international Marine Protected Area", *Marine Policy*, vol. 69, pp. 102-113.
- EHLER C. (2009), "Marine Spatial Planning, A Step-by-Step Approach toward Ecosystem-based Management", *IOC Manuals and Guides*, vol. 53.
- EUROPEAN MSP PLATFORM (2016), "Adriplan conflict score tool", *European MSP Platform*, <http://msp-platform.eu/practices/adriplan-conflict-score-tool> (consulté le 29 mars 2018).
- GUICHOUX Y., LENNON M. & THOMAS N. (2016), "Sea surface currents calculation using vessel tracking data", *Maritime Knowledge Discovery and Anomaly Detection Workshop Proceedings*, Ispra, Joint Research Centre (JRC).

- GÜTING R. *et al.* (2000), "A Foundation for Representing and Querying Moving Objects", *ACM Trans. Database Syst.*, vol. 25, n°1, pp. 1-42.
- HALPERN B. S. *et al.* (2008), "A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems", *Science*, vol. 319, n°5865, pp. 948-952.
- JALKANEN J.-P., JOHANSSON L. & KUKKONEN J. (2014), "A Comprehensive Inventory of the Ship Traffic Exhaust Emissions in the Baltic Sea from 2006 to 2009", *AMBIO*, vol. 43, n°3, pp. 311-324.
- JONES P. J. S., LIEBERKNECHT L. M. & QIU W. (2016), "Marine spatial planning in reality: Introduction to case studies and discussion of findings", *Marine Policy*.
- KOEHN J. Z., REINEMAN D. R. & KITTINGER J. N. (2013), "Progress and promise in spatial human dimensions research for ecosystem-based ocean planning", *Marine Policy*, vol. 42, pp. 31-38.
- LE GUYADER D. (2012), *Modélisation des activités humaines en mer côtière*, thèse de doctorat, Université de Bretagne occidentale, Brest, 309 p.
- LE GUYADER D. (2016), *Études relatives à la méthodologie d'analyse des risques liés au transport de matières dangereuses par voie maritime : collecte et traitement des données AIS*, Artelia Terra Maris consortium, p. 37.
- LE GUYADER D., BROSSET D. & GOURMELON F. (2012), « Exploitation de données AIS pour la cartographie du transport maritime », *M@ppemonde*, vol. 104, 2011.4.
- LE GUYADER D., LE TIXERANT M. & GOURMELON F. (2016), *Dynamiques des ACTIVités mARitimes (DACTARI) : base d'information géographique et temporelle en support à la connaissance et à la scénarisation*, CNRS LETG, Terra Maris, p. 56.
- LE GUYADER D. & LEDOUX S. (2015), *Study of navigation in the Gulf of Fos and related risks*, Artelia Terra Maris consortium, p. 127.
- LE GUYADER D. *et al.* (2017), "Defining high-resolution dredge fishing grounds with Automatic Identification System (AIS) data", *Aquatic Living Resources*, vol. 30, n°39.
- LE TIXERANT M. *et al.* (2018), "How can Automatic Identification System (AIS) data be used for maritime spatial planning?", *Ocean & Coastal Management*, vol. 166, pp. 18-30.
- LE TIXERANT M. *et al.* (2010), "Modelling of human activity development in coastal sea areas", *Journal of Coastal Conservation*, vol. 15, n°4, pp. 407-416.
- LEE J., SOUTH A. B. & JENNINGS S. (2010), "Developing reliable, repeatable, and accessible methods to provide high-resolution estimates of fishing-effort distributions from vessel monitoring system (VMS) data", *ICES Journal of Marine Science*, vol. 67, n°6, pp. 1260-1271.
- McCAULEY D. J. *et al.* (2016), "Ending hide and seek at sea", *Science*, vol. 351, n°6278, pp. 1148-1150.
- PALLOTTA G., VESPE M. & BRYAN K. (2013), "Vessel Pattern Knowledge Discovery from AIS Data: A Framework for Anomaly Detection and Route Prediction", *Entropy*, vol. 15, n°6, pp. 2218-2245.
- SHELMERDINE R. L. (2015), "Teasing out the detail: How our understanding of marine AIS data can better inform industries, developments, and planning", *Marine Policy*, vol. 54, pp. 17-25.
- ST. MARTIN K. & HALL-ARBER M. (2008), "The missing layer: Geo-technologies, communities, and implications for marine spatial planning", *Marine Policy*, vol. 32, n°5, pp. 779-786.
- STRAHLER A. N. (1957), "Quantitative analysis of watershed geomorphology", *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 38, n°6, pp. 913-920.
- VESPE M. *et al.* (2016), "Mapping EU fishing activities using ship tracking data", *Journal of Maps*, vol. 12, n° sup. 1, pp. 520-525.