

Intelligence géospatiale maritime et sciences de l'espace géographique : regards croisés

Anne Duverger, Cyril Carré, Cyril Ray, Jean-Marie Kowalski

Institut de recherche de l'École navale

anne.duverger@ecole-navale.fr, cyril.carre@ecole-navale.fr, cyril.ray@ecole-navale.fr,

jean-marie.kowalski@ecole-navale.fr

Résumé

L'intelligence géospatiale a pris son essor dans le domaine terrestre et ne se tourne que marginalement aujourd'hui vers les problématiques maritimes. Pourtant, la compréhension des espaces maritimes est une nécessité pour nos sociétés modernes tant ils sont une clé de perception des enjeux commerciaux, sociétaux ou géopolitiques contemporains. L'étude des activités et des mobilités maritimes - libres par essence - est un des moyens d'appréhender cet espace. Les volumes de données décrivant ces mobilités sont croissants, fluctuants ; l'analyse de ces données spatio-temporelles au profit, par exemple, de la surveillance des câbles internet sous-marins, du suivi des pêches, ou des pollutions nécessite une démarche d'étude complémentaire entre l'ingénierie de l'information géographique, les sciences des données et les sciences humaines et sociales. Dans cet article, les capacités pluridisciplinaires d'interprétabilité des mobilités, des comportements et des situations maritimes sont développées. Historiens, géographes, informaticiens, géomaticiens et usagers du monde maritime sont donc associés, ce qui soulève des questions sur les liens entretenus entre ces disciplines, en particulier la géographie, et l'intelligence géospatiale ; et ce du point de vue conceptuel, méthodologique et des outils mobilisés.

Mots-clés : intelligence géospatiale - espaces maritimes - géographie - sciences des données - AIS

« La géographie est d'abord un savoir stratégique, étroitement lié à un ensemble de pratiques, politiques et militaire, et ce sont ces pratiques qui exigent le rassemblement articulé de renseignements extrêmement variés, au premier abord hétéroclites »

(Lacoste, 1976 : 57)

Introduction

Nous avons assisté à un mouvement de territorialisation continu de l'espace maritime (Miossec, 2014 : 11). Ce terme¹ que l'on peut assimiler à la volonté et/ou l'action de « faire territoire² », malgré les particularités de l'espace maritime (étendue, mouvements, profondeur et fluidité) (Drish, 2015 : 130), reflète ses réalités. En effet, comme l'espace terrestre, les mers et océans

¹ Absent des dictionnaires de géographie (Wossner, 2010 : 671), le terme recouvre « l'ensemble des actions, des techniques et des dispositifs d'action et d'information qui façonnent la nature ou le sens d'un environnement matériel pour le conformer au projet territorial » (Debarbieux, 2009 : 85-86)

² Si le terme est polysémique, ici, il renvoie à un espace approprié (maillage, vécu, projections...des Hommes) (Brunet *et al.*, 1993 : 480-481)

sont de plus en plus délimités (la CNUDM³ est entrée en vigueur en 1994), appropriés (maritimisation, exploration...) ; cela génère de nouvelles conflictualités (ZEE⁴ en litige, exploitation de ressources naturelles, pose de câbles sous-marins...) engendrant un besoin accru de gestion de l'information maritime. C'est pourquoi un projet relatif à l'intelligence géospatiale (GEOINT) maritime, financé par l'Agence de l'innovation de la défense (AID) a été lancé au sein de l'Institut de Recherche de l'École navale.

En effet, l'intelligence géospatiale s'est jusqu'à présent concentrée sur des enjeux terrestres et s'est peu saisie des problématiques liées au milieu maritime. Dans les pays anglo-saxons, l'intelligence géospatiale universitaire s'est penchée sur la gestion de crise⁵, la planification et l'aménagement des espaces urbains et péri-urbains, la gestion de l'environnement⁶ et son développement au sein des armées. En France, s'il existe une littérature relativement abondante sur l'histoire de l'intelligence géospatiale, les recherches utilisant cette dernière comme cadre d'analyse n'existent pas ou peu⁷.

Ainsi, dans le cadre de ce projet, nous étudions l'élaboration d'une méthode propre à l'intelligence géospatiale maritime. Ces travaux appliqués soulèvent des questions théoriques pour les chercheurs, principalement du point de vue des sciences humaines et sociales, mais aussi pour les sciences des données. Le présent développement propose donc une réflexion sur les liens entretenus entre la géographie et l'intelligence géospatiale, et ce, du point de vue conceptuel, de la méthode et des outils mobilisés.

Dans un premier temps, nous reviendrons sur l'émergence de l'intelligence géospatiale maritime et l'apport de la géographie à cette démarche. Puis, nous mettrons en évidence que le volume des données intégrées contribue à son autonomisation vis-à-vis de la discipline géographique. Enfin, quelques similitudes et divergences entre géographie et intelligence géospatiale seront développées.

1 L'intelligence géospatiale est issue de la géographie militaire

« Nul ne peut contester que cette potentialité stratégique du savoir géographique a constitué à toutes les époques une de ses raisons d'être » (Bavoux, 2009 : 233).

1.1 L'émergence de l'intelligence géospatiale

Jusqu'au XIX^e siècle, il existe une relation implicite entre la géographie et le fait militaire sans que se dégage pour autant une pensée géographique militaire (Boulangier, 2006 : 10). En effet, les origines de la géographie militaire sont relativement récentes, en France elle se structure à partir de la défaite de 1870. Dans les années 1930, elle connaît une crise profonde et décline au lendemain de la Seconde Guerre mondiale (Regnier 2008 : 121-127). Cette dernière n'a pas suivi le tournant qu'a pris la géographie ; à savoir le développement de la géographie culturelle, démographique ou sociale.

Durant la guerre froide, la géopolitique et la géostratégie vont s'imposer comme véritable géographie du fait militaire. Il en est différemment depuis les années 1990 dans les pays anglo-

³ Convention des Nations unies sur le droit de la mer, signée en 1982 à Montego Bay (Jamaïque).

⁴ Zones économiques exclusives

⁵ Risques naturels, aide humanitaire, frontières, trafic de drogue.

⁶ Déforestation, pollution de l'air, analyse de glaciers.

⁷ Les deux thèses francophones répertoriées sur ce thème traitent du développement de l'intelligence géospatiale dans la gendarmerie (Lucazeau, 2018) et pour le Japon (Mourton, 2022).

saxons, où l'on assiste à un retour d'une géographie militaire de synthèse intégrant tous les composants géographiques. Par exemple, les congrès de l'*Association of American Geographers*, favorisent l'essor d'une réflexion approfondie sur les expériences militaires passées, mais aussi sur les opérations de maintien de la paix dans le monde. En somme, le renouvellement de la géographie militaire est un phénomène récent (Boulanger, 2006 : 18-19, 25-26).

Ainsi, tandis que la réflexion géographique militaire s'est appauvrie en Europe, elle a connu un essor progressif aux États-Unis pour répondre à la défense des intérêts américains dans le monde. En 1991, l'Agence nationale de l'imagerie spatiale et cartographique (*National Imagery and Mapping Agency*) favorise l'emploi d'un concept nouveau : GEOINT/l'intelligence géospatiale. Elle est absorbée en 2003 pour former la *National Geospatial Intelligence Agency* (NGA) consacrée à la production et à la diffusion des données géographiques et spatiales pour l'armée américaine (Boulanger, 2016b : 158-159).

Puis, au début des années 2000, l'intelligence géospatiale va se diffuser. Le NATO *Intelligence Fusion Center* est créé en 2005 (opérationnel en 2007) sous la tutelle des États-Unis. Cette dernière relève du comité militaire de l'Alliance atlantique. Installé sur la base de la *Royal Air Force* de Molesworth en Angleterre, il dépend du commandement opérationnel du SACEUR (*Supreme Allied Commander Europe*) et « applique en conséquence la même doctrine que celle de la NGA » (Boulanger, 2020 : 268-269). Si, l'OTAN s'appuie sur la définition des Américains, en son sein, les significations sont variables selon les nations (Kovarick, 2012 : 1).

L'intelligence géospatiale est aujourd'hui « un attribut de toute-puissance et de toute représentation de puissance, d'abord pour les États occidentaux, ensuite pour les pays émergents » (Boulanger, 2021 : 35). En France, elle apparaît concrètement dans la transformation lancée en 2014 par le directeur du renseignement militaire, le général Gomart. Ainsi, la création du Centre de renseignement géospatial interarmées (CRGI) au sein de la DRM⁸ en 2014 a marqué le lancement de la première structure consacrée à cette discipline (Morisseau, 2018 : 93).

1.2 Approche conceptuelle de l'intelligence géospatiale

La NGA définit l'intelligence géospatiale « comme l'exploitation et l'analyse d'images et d'informations géospatiales pour décrire, évaluer et représenter visuellement des caractéristiques physiques et des activités géographiquement référencées sur la Terre. Le GEOINT se compose d'imagerie⁹, de renseignement d'origine image¹⁰ et d'informations géospatiales » (NGA, 2006 : 5 ; 2018 : 3). L'intelligence géospatiale est aussi définie comme une technique de renseignement qui se veut multi-sources : elle intègre et enrichit les informations collectées par les autres disciplines du renseignement¹¹. La fusion de ces sources

⁸ La Direction du renseignement militaire est responsable du renseignement militaire et d'intérêt militaire pour l'ensemble des forces armées françaises.

⁹ Soit les images produites par des satellites ou des engins aériens avec ou sans pilote (NGA, 2018 : 3).

¹⁰ Soit les informations dérivées de l'interprétation ou de l'analyse des images (NGA, 2018 : 3).

¹¹ Le renseignement humain, l'intelligence des signaux qui regroupe l'intelligence électronique et l'intelligence des communications ; le renseignement de mesure et de signature, l'intelligence de l'imagerie (Bacastow, 2023 : 1). La NGA inclut aussi les informations accessibles au public qui sont collectées (NGA, 2018 : 16).

a deux finalités : la prise de décision et l'anticipation. Elle a « *la capacité de décrire, de comprendre, et d'interpréter pour anticiper l'impact humain d'un événement ou d'une action dans un environnement spatio-temporel* » (Bacastow, Bellaïfiore, 2009 : 38-40).

En France, l'intelligence géospatiale est définie comme contribuant « *à l'autonomie d'appréciation de situations grâce à la fusion et à l'analyse de données géolocalisées de sources variées (...)* » (Ministère des Armées, 2019 : 19) et doit permettre « *une vision géographique de tous ses leviers de manœuvres et contraintes (ressources humaines, logistique, renseignement, open data). Par ailleurs, pour la gestion d'interventions, de grands événements ou de crises, la cartographie doit servir de support à la visualisation des données en temps réel afin de faciliter la prise de décision (...)* » (Ministère de l'Intérieur, 2020 : 233). En effet, la géovisualisation est un outil essentiel du processus d'intelligence géospatiale, car en exploitant des éléments connus, elle permet de mettre en évidence des éléments inconnus (Caillard, 2016 : 187). En ce sens, les systèmes d'information géographique (SIG) deviennent les outils privilégiés, car en regroupant les sciences de l'observation (acquisition et traitement de données, analyse), ils contribuent à modéliser les phénomènes spatiaux pour comprendre les relations spatiales et en prédire les évolutions (Majerowicz, 2016 : 200).

L'intelligence géospatiale ne se limite pas à un processus technique, mais elle : « *s'élargit à l'idée de raisonnement et d'analyse relevant du domaine de la géopolitique en sciences humaines (...)* » (Boulanger, 2019 : 32). Son objectif vise donc à une géopolitique opérationnelle grâce à la cartographie traditionnelle et numérique, aux sciences géodésiques¹², aux SIG, à l'imagerie spatiale, aux données liées à chaque milieu physique (aéronautique, terrestre, maritime), à l'analyse géopolitique, aux sources du renseignement (humain, électromagnétique, cyber, sources ouvertes, géospatial et informatique) à partir de tous les capteurs utilisables (drones, satellites, senseurs divers) (Boulanger, 2020 : 245). Ainsi, l'intelligence géospatiale « *restitue l'essence même de la géographie militaire qui se veut une discipline de synthèse (géographie humaine, géographie physique). Mais y ajoute la notion de performance de l'analyse dans un délai court et celle de la qualité de l'information par la fusion de différents supports et l'apport de différentes technologies de visualisation* » (Boulanger, 2016b : 164).

L'intelligence géospatiale française se distingue donc partiellement de celle américaine. Cette dernière met davantage l'accent sur le renseignement d'origine satellitaire et d'origine image en raison de leur supériorité dans ce domaine, alors que la première combine : « *imagerie satellitaire, signaux électromagnétiques et analyse en géographie humaine* » (Guerin, 2021 : 81). En effet, si dans la culture française du renseignement et de la géographie militaire « *la géographie physique a longtemps dominé l'intérêt des géographes des armées tandis que la géographie humaine était plutôt réservée au milieu universitaire* », depuis 2014 le directeur de la DRM, a créé une synergie entre le renseignement, l'imagerie spatiale et la géographie humaine¹³. D'autres éléments sont communs à ces deux approches de l'intelligence géospatiale (française et américaine) : la fusion des données, sa vocation opérationnelle et prédictive (pour la stratégie et la tactique), sa dimension spatio-temporelle et les SIG qui en sont les outils privilégiés.

¹² La géodésie est la science qui étudie les dimensions et la forme de la Terre. Institut nationale de l'information de l'information et forestière, Géodésie [en ligne].

¹³ Geointblog, Morisseau Jean-Philippe, Quelques questions sur le GEOINT [en ligne].

2 L'intelligence géospatiale maritime et le tournant du *big data*

En mai 2016, le directeur de la NGA indiquait que son agence était dotée d'un fonds de plus de 20 millions d'observations. Il précise que ce dernier s'agrandit par « *centaines de milliers chaque mois et s'accompagne de milliards de coordonnées géographiques* » (Van Puyvelde, 2017 : 226).

2.1 Les caractéristiques de l'intelligence géospatiale maritime

Les travaux du CICDE¹⁴ en 2021 nous permettent d'identifier une partie des composants caractérisant l'intelligence géospatiale maritime : elle exploite du renseignement multisources ; c'est une approche globale qui permet la contextualisation des données issues de toutes sources ; les données sont exploitées dans des SIG et *via* des procédés d'automatisation de calculs ; elle engendre l'analyse prédictive et l'anticipation ; elle est essentielle à la planification ; elle est assimilable à un système d'information, car elle autorise la collecte, le stockage, le traitement et la distribution de l'information ; enfin, elle structure des flux d'informations provenant d'acteurs privés ou institutionnels.

Cependant, en raison des spécificités du milieu maritime : « *les mers et les océans sont par essence des espaces physiques complexes et variés, différents de la terre et caractérisés par leur étendue (71 % de la surface du globe), leurs mouvements (courants, marées, houles...), leur profondeur (espace en trois dimensions : surface, colonne d'eau, sol et sous-sol) et leur fluidité* » (Drisch, 2015 : 130), il faut ajouter deux éléments (Duverger, Ray, 2024 : 3) :

- Le « *renseignement multisource* » est issu de quatre dimensions du milieu maritime : la surface, la colonne d'eau, le plancher océanique et l'espace. Sur les mers et océans (surface), certains navires sont dotés de systèmes de localisation : *Automatic Identification System* (AIS¹⁵), *Vessel Monitoring System* (VMS) qui est un système de surveillance des navires de pêche ou encore *Voyage Data Recorder* (VDR) qui est un enregistreur de données du voyage. En surface, on peut également collecter des données issues du renseignement humain, des caméras des ports et des RADAR¹⁶. Les données des bathysondes, SONAR¹⁷, des drones sous-marins et DAS¹⁸ concernent l'environnement maritime immergé. Enfin, les satellites se déplaçant au-dessus de l'espace maritime sont une source de données importante.
- L'anisotropie¹⁹ de l'espace maritime est moins importante que celle de l'espace terrestre ; il existe moins de structures de surface sur lesquelles s'appuyer pour caractériser une situation. C'est pourquoi des informations issues d'au moins deux dimensions sont souvent nécessaires à l'analyse.

¹⁴ Centre interarmées de concepts, de doctrines et d'expérimentations

¹⁵ L'AIS est obligatoire pour tous les cargos de 500 tonneaux ou plus, pour les navires d'une capacité de 300 tonneaux ou plus en service à l'international ainsi que pour tous les navires de passagers quelle que soit leur taille (IMO, 2020 : 318).

¹⁶ *Radio detection and ranging*, détection et estimation de la distance par ondes radio

¹⁷ *Sound Navigation and Ranging*, système de navigation et de télémétrie par écho sonore

¹⁸ *Distributed Acoustic Sensing*, système de détection acoustique distribuée

¹⁹ L'anisotropie caractérise un espace orienté, qui s'ordonne selon des axes, qui obéit à des polarisations Tabarly, 2005, Isotropie et anisotropie [en ligne] ; il n'existe pas d'espace géographique isotrope.

Ainsi, l'intelligence géospatiale maritime peut se définir comme une méthode d'analyse qui permet d'acquérir des connaissances par la fusion de toutes ou une partie des données acquises dans les quatre dimensions du milieu maritime. Certaines d'entre elles sont particulières au milieu maritime, notamment les données AIS (principal moyen de localiser les activités et mobilités humaines sur l'ensemble des mers et océans). Ces dernières représentent un volume d'informations important, elles nécessitent donc des systèmes de stockage adaptés et doivent être nécessairement traitées par des algorithmes pour pouvoir être représentées. Il est ensuite possible de les transférer dans un SIG, afin de les spatialiser et de procéder à la production de cartes. D'autres types de représentations (graphiques et schémas) permettent d'enrichir la compréhension de la dimension temporelle de l'information.

2.2 Un volume massif de données maritimes...

L'intelligence géospatiale maritime s'appuie sur un volume massif de données provenant notamment du système AIS. Ainsi, environ 400 000 navires, à l'échelle mondiale, transmettent toutes les 2 secondes à 3 minutes des informations statiques (nom du navire, pavillon, dimensions) et dynamiques (position, vitesse, cap) (ITU-R, 2014 : 9, 84). Par conséquent, ce système est représentatif des problématiques liées au *big data*, notamment :

- Le volume, qui se réfère à la quantité de données, trop abondantes pour être acquises, stockées, traitées, analysées et diffusées par des outils standards. Une journée de messages AIS à l'échelle mondiale représente environ 9 giga-octets de données brutes au format NMEA²⁰.
- La vélocité. Il s'agit de la vitesse à laquelle les données sont diffusées et la vitesse à laquelle elles changent ou sont actualisées (environ 10 000 messages par seconde à l'échelle européenne).
- La variété est relative à l'hétérogénéité des données (natures, sources et formats) (Doug, 2021 : 1). Au-delà de l'AIS, une étude relevant de l'intelligence géospatiale nécessite également une grande variété de couches de données complémentaires : liste de navires, conditions météorologiques, état de la mer, ressources sous-marines, infrastructures humaines (plateforme offshore, câbles sous-marins...).
- La véracité est un problème intrinsèque à l'AIS. S'agissant d'un système ouvert, en partie renseigné manuellement, les erreurs et malversations qu'il véhicule sont nombreuses (Ray *et al.*, 2015 : 3-5). Elle recouvre deux sortes d'erreurs. La première fait référence à la qualité des données : simples anomalies dues à la nature ou à l'acquisition de celles-ci (valeurs aberrantes ou manquantes, doublons, etc.). La seconde concerne leur manipulation délibérée : falsification, piratage (Iphar *et al.*, 2016 : 2). Pour ces raisons, en fonction des analyses à effectuer, il convient de mettre en place des processus de traitement des données adaptés.

2.3 ...qui nécessite la mobilisation de différentes disciplines

Face à ce volume massif de données, l'intelligence géospatiale fait appel à différentes disciplines, tant dans le domaine technologique que dans les champs des sciences humaines (Morel, Boulanger, 2016 : 193). Dans notre approche sur le GEOINT maritime, géographe, historien, géomaticien et informaticien, par une approche réflexive, identifient les compétences

²⁰ Les trames NMEA sont des messages standardisés permettant de transmettre des informations entre équipements marins.

prises en jeu par cette démarche. Le schéma ci-dessous (cf. fig. 1) synthétise les rôles des différents acteurs du projet, cependant leur répartition peut varier en fonction des profils et des compétences de chacun.

Le géographe et l'historien utilisent une méthode qualitative, cette dernière est adaptée pour comprendre des phénomènes qui sont difficilement mesurables (Mucchielli, 2009 : 205-206) et est utilisée pour les étapes préliminaires et finales du projet. Elle a permis, *via* un état de l'art, d'identifier les objets de connaissance de l'intelligence géospatiale maritime ; de délimiter la zone d'étude, d'élaborer une problématique de recherche, d'identifier des cas d'étude : le premier de ces cas est relatif à la sécurité des câbles internet sous-marins. En outre, cette démarche a été mobilisée pour sélectionner au sein des données quantitatives les éléments nécessaires à la confirmation ou à l'infirmité des hypothèses de recherche (type de navires, pavillons...), ainsi qu'à identifier les données contextuelles à ajouter dans le SIG (ZEE, eaux territoriales, mers et océans du monde, administratives, zones portuaires, l'IDH des pays...), nous renseignant sur l'environnement maritime, juridique, physique, géopolitique dans lequel s'inscrivent les câbles.

L'approche qualitative est aussi nécessaire pour avoir une vision holistique d'un phénomène : pour mesurer les risques pesant sur les câbles sous-marins, un indice comportant une variable liée au contexte géopolitique du câble est développé (Duverger, Ray, 2024 : 12). Enfin, elle est incontournable pour l'analyse des résultats, car des éléments hétérogènes entrent en interaction (dans le cas des câbles, leur situation, le contexte géopolitique, la bathymétrie, les compagnies détenant les navires câbliers...). En ce sens, leur démarche est proche de celle du marin-analyste.

Géomaticien et informaticien interviennent dans les étapes médianes du projet. Le géomaticien est chargé de l'importation, du traitement et de l'analyse des données. Il participe également à la conception des différentes bases de données et à leur structuration. Il conçoit des modèles conceptuels répondant aux problématiques formulées par le géographe. Par conséquent, une connaissance approfondie des outils de la géographie est essentielle pour saisir les nuances et les implications des besoins exprimés par ce dernier. Cela lui permet de sélectionner les sources de données les plus pertinentes pour le cas d'étude, de penser avec le géographe le choix de la résolution des hexagones au regard du phénomène étudié. Lorsque les données sont chargées sur la plateforme (cf. fig. 1), il peut commencer à les traiter. Il passe ensuite à la phase d'extraction des informations. Une chaîne d'exploitation constituée d'algorithmes de traitement et d'analyse de données est mise en place. Les compétences mises en œuvre par le géomaticien sont triples : analyse spatiale, statistiques et développement informatique. Dans le cadre de l'intelligence géospatiale maritime, les données étant trop volumineuses et disparates pour être directement intégrées dans les logiciels SIG classiques, nous utilisons les technologies issues du *big data* pour les traiter (domaine de l'informatique) et la science des données pour extraire et synthétiser l'information. Une fois les informations pertinentes extraites, elles sont transférées au géographe : couches géographiques, tables et graphiques.

Dans le cadre du projet, le rôle de l'informaticien recouvre trois profils complémentaires. En tant qu'architecte *big data*, il est responsable de la conception et du développement de l'infrastructure informatique qui sous-tend l'ensemble du projet (mise en place de solutions

techniques pour la collecte des données, leur stockage et leur traitement). Il choisit les *frameworks* (infrastructures logicielles) et les structures de bases de données. En complément, l'ingénieur plateforme (informaticien) assume la fonction d'administrateur du système d'information. Sa mission est de maintenir en condition opérationnelle l'intégralité de la plateforme. Il est chargé de l'administration et de la maintenance de l'infrastructure informatique afin d'en garantir la sécurité, la performance et la disponibilité. Cela comprend l'installation et la configuration des serveurs et des logiciels, la mise en place de solutions de sauvegarde et de restauration des données, la gestion des accès des utilisateurs. Le troisième rôle est celui d'informaticien en science des données (*Data Scientist*). Il apporte son expertise en matière d'extraction, de structuration, d'analyse et de restitution des données. Son travail consiste à concevoir les traitements et algorithmes (notamment en ayant recours à l'intelligence artificielle) permettant de transformer les données brutes en connaissances exploitables. En ce sens, son champ d'action recoupe en partie celui du géomaticien. En collaboration avec ce dernier, il choisit les données pertinentes à partir des différentes sources, participe à l'importation et au nettoyage de celles-ci (formatage, suppression des erreurs, etc.). Il définit les règles de structuration des différentes bases de données et conçoit les modèles statistiques et d'apprentissage automatique pour détecter, classer et prédire des événements et ainsi identifier des risques potentiels. Le *Data Scientist* constitue une boîte à outils d'algorithmes et restitue les résultats de ses traitements sous forme de tables et tableaux de bord qui sont ensuite exploités par le géomaticien ou le géographe.

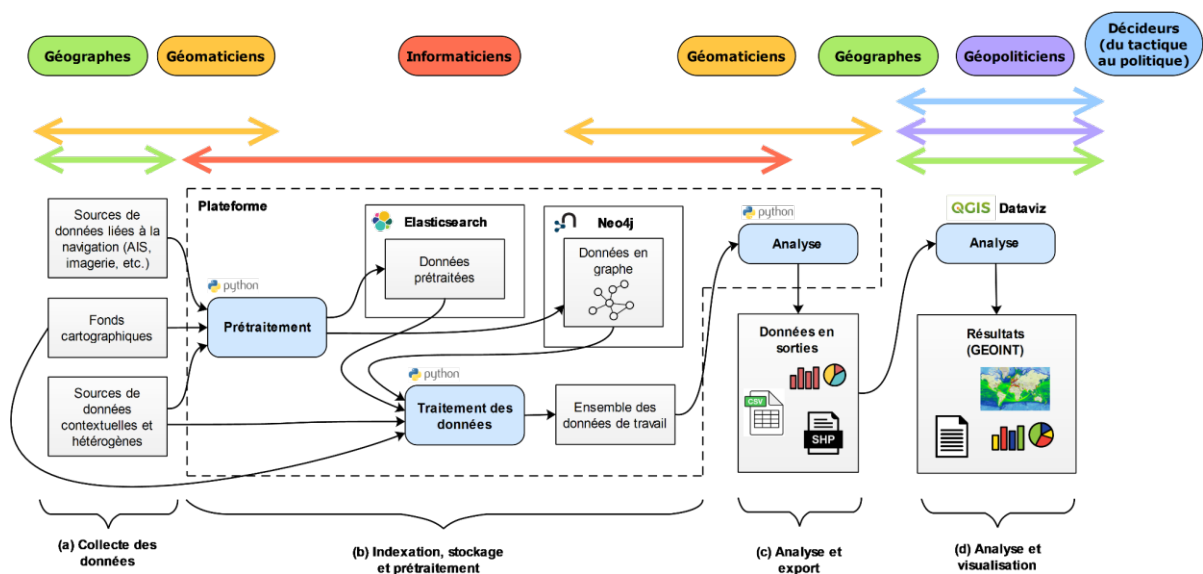


Figure 1 : une approche réflexive sur les disciplines impliquées dans une démarche relevant de l'intelligence géospatiale maritime

3 Intelligence géospatiale vs géographie, distinctions et apports mutuels

« L'essence même de la géographie, sa globalité (...) lui sera constamment reprochée ; au fond, savoir un peu de tout (la synthèse) tout en ayant l'ambition d'aller au plus profond de la connaissance du plus petit. Une affaire d'échelles que le géographe ne peut ignorer, mais avec lesquelles il peut jouer ! » (Miossec, 2021 : 81).

3.1 Une méthode proche de la géographie quantitative ?

La géographie s'est « *très vite jetée dans la déferlante des big data car beaucoup de ces données (...) sont individuelles, ce qui intéresse toutes les sciences sociales, mais surtout elles sont très souvent géolocalisées (...)* ». Ce type de données « *conduirait (...) à transformer les bases épistémologiques du travail scientifique, en apportant un substitut à la démarche classique des enquêtes et des expériences* » (Pumain, 2017 : 30-31). Pour certains, aux démarches inductives²¹ et hypothético-déductives²² de la géographie « *devraient désormais s'articuler avec une troisième voie, non-exclusive, mais sans doute complémentaire : l'abduction* » (Audart et al., 2014 : 3). Cette dernière renvoie « *à la capacité du scientifique de se mettre en position d'étonnement à se laisser guider par la recherche de l'inattendu* ».

Concrètement, ce processus repose sur l'exploration des données, de manière à faire germer des hypothèses. Puis, la déduction est employée pour évaluer les hypothèses générées au cours de cette phase, tandis que l'induction permet de les tester empiriquement (Banos, 2005 : 2-3).

Dans le cadre de notre projet, si le géomaticien dispose des compétences nécessaires à « *l'exploration graphique interactive de données* » (Banos, 2005 : 5) ; cette dernière n'est réalisable que pour un volume restreint de données (une grande échelle sur un temps relativement court). De plus, confronter une partie des « champs » de l' AIS revient à effectuer un choix ; supposer qu'un minimum deux variables produisent de la connaissance : c'est le début de la démarche hypothético-déductive. Par conséquent, dans le cadre d'une démarche qui intègre aussi bien les sciences formelles qu'humaines, nous avons choisi de formuler des hypothèses au regard des enjeux maritimes présents dans la zone d'étude. Ces hypothèses ont été construites en se basant sur la littérature spécialisée, les expériences de terrain du géographe (spécialiste de la Nouvelle-Calédonie et du Vanuatu) et celles de militaires (entretiens ouverts). En effet, l'intelligence géospatiale accorde une large place au « *renseignement humain* » et donc à la pratique de terrain : « *bien que les outils d'analyse de données massives permettent de définir certaines cibles et de mieux les surveiller, l'être humain continue de jouer un rôle essentiel d'interprétation et de jugement dans le cycle du renseignement* » (Van Puyvelde, 2017 : 227). Puis, ces hypothèses ont déterminé les aspects du signal AIS à analyser (champs à sélectionner).

Ainsi, l'intelligence géospatiale maritime se sert des outils de la géographie quantitative (graphe du réseau maritime pour comprendre son évolution et celle des cycles de vie des navires, ainsi que de divers algorithmes : changement d'identité des navires, prédiction de trajectoire sont créés) (Maslek Elayam et al., 2021 : 1) (Duverger, Ray, 2024 : 8), tout en partant du terrain. C'est un reproche généralement fait par les détracteurs de la théorie quantitative : « *elle apparaît le plus souvent « hors sol », trop déconnectée de la complexité du terrain et de la collecte des données de première main* » (Feuillet et al., 2019 : 8). Cependant, ici, comme en géographie, elle tend « *à se diluer (...) car son programme n'entre plus en collision avec les pratiques en vigueur : (...) [elle est] pratiquée à divers degrés dans la plupart des spécialités*

²¹ La démarche inductive part de l'observation et de la description des faits pour aller vers l'explication (Beguin, 1985 : 65).

²² La démarche hypothético-déductive consiste à élaborer « *une construction théorique des processus qu'elle présume explicatifs du monde réel et elle la confronte ensuite avec la réalité étudiée afin d'en vérifier la validité* » (Bailly et al., 2016 : 19).

du champ géographique » (Cuyala, Commenges, 2014 : 305) car son « *son utilité (...) ne cesse d'augmenter, en lien avec la disponibilité croissante de l'information géographique* » (Feuillet *et al.*, 2019 : 13).

Ajoutons, que nous disposons d'une couverture mondiale de données AIS de 2017 à 2023. Il est donc possible de répliquer notre méthode de recherche, dans le temps et l'espace, en faisant varier la littérature à exploiter, les expériences de terrain à recueillir, pour cibler les aspects de l'AIS à exploiter au regard d'une situation donnée. Ce triptyque peut constituer les bases d'une démarche relevant de l'intelligence géospatiale maritime.

3.2 Représentations des territoires maritimes entre géopolitique et géostratégie ?

Afin de faciliter l'agrégation, la visualisation et donc l'analyse d'un grand volume de données, nous avons développé une approche basée sur le système d'indexation hexagonale Uber H3²³. Cette bibliothèque offre plusieurs avantages en termes de structuration de la donnée et de représentation. Pour commencer, la forme hexagonale subira moins de distorsion que les autres formes du fait de la courbure de la Terre (Malslek Elayam *et al.*, 2022 : 2).

De plus, elle contient 16 tailles différentes d'hexagones, chacune couvrant l'ensemble du globe : la maille 0 correspond à des hexagones d'une superficie moyenne de 4 250 546 km², la maille 15 à des hexagones d'une superficie moyenne de 0,895 m². Leur niveau de granularité, plus ou moins fin, permet donc de trouver un maillage adapté à toutes les échelles d'analyse, pour tous les phénomènes et avec un volume adapté de données. Les hexagones avec le maillage le plus important couvrent de vastes régions, tandis que ceux avec une résolution plus fine ne couvrent que des zones plus petites où ne se trouvent que quelques navires (Wang *et al.*, 2019 : 3).

Chaque hexagone est subdivisé en sept hexagones de taille inférieure²⁴. Ainsi, grâce aux diverses tailles d'hexagones, il est possible de mener des analyses multiscalaires²⁵ ; ils s'imbriquent parfaitement les uns dans les autres à tous les niveaux. Enfin, la représentation hexagonale favorise la restitution des mouvements des navires vers six directions équidistantes (contre quatre pour un maillage carré) (Tsatcha *et al.*, 2014 : 11) ; cela augmente les possibilités d'appréhension du comportement des navires.

Par conséquent, si les objets maritimes, par nature mobiles, évoluant dans un environnement fluide posent des difficultés de représentation, l'indexation hexagonale offre la possibilité de modéliser les trajectoires des navires, de mieux identifier et délimiter les zones d'intérêt (Malslek Elayam *et al.*, 2022 : 2). Ces éléments permettent de penser les mers et océans par le prisme du concept de « territoire » ou « merritoire »²⁶.

Dès lors, l'indexation hexagonale offre la possibilité de lier des approches relevant de la géographie, géopolitique et géostratégie, toutes trois basées sur l'analyse des territoires et une approche multiscalaire. En effet, la géopolitique se veut « *un discours (...) étayé par des observations de terrain, destiné à expliciter des enjeux de pouvoir sur des territoires, sans*

²³ Uber Technologies, H3-Hexagonal hierarchical geospatial indexing system [En ligne].

²⁴ Brodsky Isaac, H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index [En ligne].

²⁵ Soit « *considérer l'inscription des différents phénomènes étudiés à une échelle géographique pertinente, et à recenser les intersections, les chevauchements qui s'opèrent selon les échelles* » (Lasserre *et al.*, 2016 : 65).

²⁶ Terme forgé par analogie avec celui de territoire, par Camille Parrain, 2012, « La haute mer : un espace aux frontières de la recherche géographique », *Echogéo*, n°19, 11 p.

tomber sur les écueils de la généralisation abusive » (Lasserre et al., 2016 : 21) et « *s'inscrit dans des territoires plus concrets, de taille et de nature politique variées* » (Loyer, 2019 : 13). Quant à la géostratégie, elle comprend la stratégie (problèmes militaires à petite échelle) et la tactique (qui les envisage à grande échelle géographique) (Rosière, 2001 : 40) et se définit comme « *l'analyse de la spatialisation de la stratégie* ». Soit la spatialisation de la combinaison de différentes forces sur plusieurs théâtres d'opérations pour conduire la manœuvre stratégique dans une région (stratégie opérationnelle), des moyens déployés pour atteindre les objectifs de la stratégie totale (stratégie générale) et de la combinaison des moyens divers pour atteindre les objectifs fixés par le pouvoir politique (stratégie totale). Pour cela, elle s'appuie sur la géographie physique (milieux terrestre, aérien et maritime) et humaine²⁷ (Boulanger, 2023 : 5- 6).

3.3 Une démarche analogue à la géographie des risques ?

L'intelligence géospatiale maritime et la géographie ont un même objet : les risques. Dans le domaine de l'intelligence géospatiale maritime, ils sont généralement de nature anthropique²⁸. Par exemple, l'attaque d'un navire constitue un risque, tout comme la coupure d'un câble internet. Les risques et les catastrophes étant par essence des objets complexes (grand nombre de composantes, évolution non-linéaire et dépendante des conditions initiales, combinaison de plusieurs échelles spatiales ou niveaux d'organisation) (Dauphine, Provitolo, 2013 : 10), l'intelligence géospatiale gagnerait donc à intégrer la systémique.

De plus, la géographie des risques et l'intelligence géospatiale maritime ont une approche commune du risque basée sur la temporalité. En effet, si certains insistent sur la collecte d'informations en temps réel : « *le Geoint consiste à collecter et à analyser toute une série de sources, en théorie en temps réel, pour produire une information de qualité qui sera exploitée par le décideur militaire ou politique, mais aussi par les unités dans le théâtre d'opérations* » (Boulanger, 2016a : 104), des analyses historiques des activités maritimes peuvent être menées. C'est le choix effectué dans le projet, cela permet de comprendre l'avènement d'une situation, mais aussi de prévoir des situations similaires.

Ainsi, la « *prédictive* » est à l'intelligence géospatiale maritime (cf. 2.1) ce que la « *prévision* » (Bétard, Fort, 2014 : 304) est à la géographie des risques. En effet, la prévision, « *une représentation précise d'un événement futur qui sera le résultat de causes déjà agissantes* » qui peut s'appuyer sur trois méthodes empirique (qui mobilise généralement l'histoire), déterministe (qui part de lois causales pour évaluer les mécanismes des catastrophes) et probabiliste (elle établit le plus souvent une probabilité d'occurrence d'un aléa traduite en durée) (Dauphiné, Provitolo, 2013 : 300-307) a pour objectif l'anticipation. Tout comme la prédictive, dont la sémantique relève davantage du domaine de la statistique (Leconte, 2012 : 96).

²⁷ Elle s'est élargie à l'espace hertzien ou électromagnétique (espace des communications et signaux), à l'infosphère (recouvrant toutes les formes d'informations, des tracts aux réseaux sociaux) et au cyberspace (espace virtuel dans lequel l'information numérique circule) (Boulanger, 2023 : 72).

²⁸ Les huit domaines du géoint maritime que nous avons identifiés sont les suivants : piraterie, incidents maritimes, migrations illégales, trafic de stupéfiants, terrorisme, pêches illégales, sécurité environnementale et cybersécurité.

Le caractère horodaté des données, propre à l'étude de risques, a une influence sur leur représentation. Cependant, si la cartographie statique permet de représenter des durées, des vitesses et des fréquences grâce aux variables sémiologiques²⁹, « *le caractère chronologique et évolutif des événements est peu perçu à travers l'application de [celle-ci].* ». De plus, procéder à l'ajout d'une collection de cartes n'est pas non plus suffisant : « *un événement (...) sur un pas de temps long, nécessite un grand nombre de cartes pour [rendre compte de] l'évolution temporelle* ». La carte dynamique en utilisant un environnement animé peut résoudre cette difficulté : l'utilisateur peut « *interagir avec la carte et contrôler l'animation (...)* » (Arnaud, Davoine, 2009 : 61). Cependant, dans l'objectif de vulgariser les travaux réalisés, nous proposons l'ajout à des cartes statiques de schèmes géo-temporels : tableaux de bord³⁰, frises chronologiques, graphiques. Ces derniers permettent de tenir compte de la temporalité de l'information ; l'intelligence géospatiale enrichit le système iconographique de la géographie par la création de « cartes complexes » ou « cartes multidimensionnelles ».

Conclusion

L'application de l'intelligence géospatiale maritime à l'analyse des câbles internet sous-marins, pour le bassin Pacifique, a mis en évidence une méthode d'analyse qui associe l'algorithmique et les sciences humaines et sociales aux diverses étapes du processus. En effet, la caractérisation des phénomènes maritimes, qui se base sur une démarche hypothético-déductive et associant parfois l'abduction (sur un volume restreint de données), est un préalable à la mobilisation des outils relatifs aux sciences des données.

De plus, du point de vue épistémologique et conceptuel, l'intelligence géospatiale a une filiation évidente avec la géographie militaire anglo-saxonne, mais l'accélération de son développement est liée aux NTIC³¹ et à l'importance donnée au renseignement. Ainsi, l'intelligence géospatiale maritime exploite notamment le système AIS, qui génère des données massives. Par conséquent, en raison de leur volume, mais aussi de leurs lacunes informationnelles (erreurs, falsifications...), elles doivent non seulement être traitées par les chercheurs en sciences des données, mais également couplées à des données contextuelles ; cela nécessite des compétences qualitatives et une approche holistique, propre à la géographie.

Pour ces raisons, l'étude des liens entretenus entre l'intelligence géospatiale et la géographie a été développée, afin d'affiner la réflexion sur la méthode, les objets et les outils qui la caractérisent. Concernant la méthode, elle emprunte largement aux sciences humaines et sociales : démarche qualitative (état de l'art, expériences de terrain et entretiens). Du point de vue des outils, elle s'appuie sur les graphes, les algorithmes et l'indexation hexagonale. Cette dernière lui permet de rendre visible les territoires maritimes à différentes échelles ; cela offre la possibilité de mener des analyses qui relèvent de la géopolitique ou de la géostratégie. Enfin, elle s'intéresse principalement aux risques (objet de connaissance). Nous avons ainsi mis en évidence que la dimension temporelle de cet objet engendre des représentations spécifiques,

²⁹ Taille, couleur, transparence, grain, texte...

³⁰ Un tableau de bord est un ensemble d'éléments visuels (cartes, textes, listes, diagrammes, indicateurs...) affichés sur un même écran ou page. Il offre une vue synthétique, didactique, mais aussi multidimensionnelle d'un ou plusieurs phénomènes.

³¹ Nouvelles technologies de l'information et de la communication

une « carte complexe ». L'ensemble de ses éléments constitue le socle de l'intelligence géospatiale maritime (même si les hypothèses, les données et algorithmes doivent varier), qui peut s'appliquer à tous les cas d'études : de la pêche illégale à la piraterie en passant par les incidents maritimes.

Au regard de ses analogies avec la géographie des risques, nous avançons qu'une réflexion sur l'intelligence géospatiale maritime gagnerait à intégrer l'approche systémique. En effet, l'espace maritime peut se penser comme un système complexe, tout comme les phénomènes qui s'y déploient. De plus, les outils de la systémique : systèmes, structures, boucles de rétroactions, approches téléologique (Brunet, 1979 : 405-406) et transcalaire (Djament-Tran, 2015 : 68) renforceraient sa dimension prédictive. Cette dernière doit être davantage renseignée, car si l'essence stratégique des savoirs sur l'espace géographique a été réaffirmée, la prédictive joue un rôle fondamental pour la pacification du monde : la géographie doit aussi servir à faire la paix³².

Bibliographie

Arnaud Aurélie, Davoine Paule-Annick, 2009, « Cartographie des temporalités dans le domaine des risques », *Le Monde des Cartes*, Comité français de Cartographie, n° 202, pp. 59-70

Audard Frédéric, Carpentier Samuel, Oliveau Sébastien, 2014, « Les “big data” sont-elles l'avenir de la géographie [théorique et quantitative] ? », 20^{ème} Biennale de géographie d'Avignon, Géopoint-2014, Controverses et géographies, Juin 2014, Avignon, France. pp. 1-4

Bacastow Todd S., Bellafiore Dennis, 2009, “Redefining Geospatial Intelligence”, *American Intelligence Journal*, pp. 38-40

Bacastow Todd S., 2023, “Definition of GEOINT (Géospatial Intelligence)”, *The International Encyclopédia of Geography*, 6 p.

Bailly Antoine, Beguin Hubert, Scariati Renato, 2016, *Introduction à la géographie humaine*, Collection U, Armand Colin, Paris, 240 p.

Banos Arnaud, 2005, « Favoriser l'étonnement : la voie de l'abduction dans les Systèmes d'Information Géographiques », dans Fosting Jean-Marie (Dir.), *Apport des SIG à la recherche*, Presses universitaires d'Orléans, pp. 237-254

Bavoux Jean-Jacques, 2009, *La géographie, Objet, Méthodes, Débats*, Coll. U, Armand Colin, Paris, 312 p.

Beguin Hubert, 1985, « La théorie dans la démarche géographique », *L'Espace géographique*, vol. 14, n° 1, pp. 65-68

Bétard François, Fort Monique, 2018 : « Les risques liés à la nature et leur gestion dans les Suds », *Bulletin de l'association de géographes français*, vol. 91, n° 3, pp. 303-312

Boulanger Philippe, 2006, *Géographie militaire*, Carrefours, Ellipses, 384 p.

Boulanger Philippe, 2016a, « Geospatial Intelligence et géopolitique : aspects d'une révolution en cours », *Revue Défense Nationale*, n° 795, pp. 103-108.

Boulanger Philippe, 2016b, « De la géographie militaire au Géospatial Intelligence en France (XIX^e-XX^e siècle) », dans Boulanger Philippe (Dir.), *Géographie et guerre. De la géographie militaire au Geospatial Intelligence en France (XVIII^e-XXI^e siècle)*, Bulletin de la Société de géographie, pp. 153- 167

³² Expression empruntée au titre de l'ouvrage de Philippe Pelletier, *Quand la géographie sert à faire la paix* (2017).

- Boulanger** Philippe, 2019, « Le Geoint à l'origine d'une nouvelle science de l'information géospatiale ? », *Défense*, n° 200, pp. 32-36
- Boulanger** Philippe, 2020, *La géographie reine des batailles*, Perrin, Paris, 364 p.
- Boulanger** Philippe, 2021, « Géopolitique du Geospatial Intelligence dans le monde », *Stratégie* 2021, vol. 2, n° 126-127, pp. 35-49
- Boulanger** Philippe, 2023, *Introduction à la géostratégie*, Repères, La Découverte, Paris, 128 p.
- Brunet** Roger, 1979, « Systèmes et approche systémique en géographie », *Bulletin de l'Association de géographes français*, n° 465, pp. 399-407
- Brunet** Roger, Ferras Robert, Thery Hervé, 1993, *Les mots de la géographie*, Reclus, La Documentation Française, Paris, 518 p.
- Caillard** Vincent, 2016, « La géovisualisation, outil d'analyse GEOINT », dans Boulanger Philippe (Dir.), *Géographie et guerre. De la géographie militaire au Geospatial Intelligence en France (XVIII^e-XXI^e siècle)*, Bulletin de la Société de géographie, pp. 177-187
- Cuyala** Sylvain, Commenges Hadrien, 2014, « La diffusion de la géographie "théorique et quantitative" en France : quel modèle de diffusion spatiale ? », *L'Espace géographique*, vol. 4, Tome 43, pp. 289- 307
- Dauphiné** André, Provitolo Damienne, 2016, *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Collection U, Armand Colin, Paris, 416 p.
- Debarbieux** Bernard, « Territoire-territorialité-Territorialisation : aujourd'hui encore et bien moins que demain » dans Vanier Martin (Dir.), 2009, *Territoires, territorialité, territorialisation Controverses et perspectives*, Espace et Territoires, Presses universitaires de Rennes, Rennes, 232 p.
- Duverger** Anne-Clémence, Ray Cyril, 2024, « Méthode de gestion et d'analyse de l'information spatiale et temporelle maritime », Atelier Gestion et l'Analyse de données Spatiales et Temporelles (GAST), 24^{ème} Journées Francophones Extraction et Gestion des Connaissances (EGC), Dijon, Janvier 2024, 17 p.
- Djament-Tran** Géraldine, 2015, « La résilience, une question d'échelles », dans *Reghezza Magalie, Rufat Samuel* (Dir.), 2015, *Résilience : territoires et sociétés face aux risques, à l'incertitude et aux catastrophes*, Londres, ISTE, pp. 61-80
- Drish** Jérémy, 2015, « Territorialisation des mers et des océans : entre mythes et réalités », vol. 3, n° 30, pp. 129-139
- Feuillet** Thierry, Cossart Étienne, Commenges Hadrien, 2019, *Manuel de géographie quantitative. Concepts, outils, méthodes*, Coursus, Armand Colin, 240 p.
- Guerin** Arnaud, 2021, « Relancer la géographie française avec l'intelligence artificielle », *Revue Défense Nationale*, n° 842, pp. 78-82
- Iphar** Clément, Napoli Aldo, Ray Cyril, 2016, « Démarche d'analyse de l'intégrité d'un système de localisation de navires », *SAGEO*, 4 p.
- Kovarick** Vladimir, 2012, « Understanding the role of geographic data and processes in geospatial intelligence », 4^{ème} Conférence scientifique et technique internationale, Bratislava, 7 p.
- Lacoste** Yves, 1976, *La géographie, ça sert, d'abord, à faire la guerre*, La Découverte, Paris, 249 p.
- Lasserre** Frédéric, Gonon Emmanuel, Mottet Eric, 2016, *Manuel de géopolitique ; enjeux de pouvoir sur des territoires*, Collection U, Armand Colin, Paris, 384 p.
- Leconte** Gauvin, 2013, « Le problème des prédictions dans les sciences expérimentales », *Philonsorbonne*, n° 7, pp. 81-99
- Loyer** Barbara, 2019, *Géopolitique. Méthodes et concepts*, Coursus, Armand Colin, 224 p.
- Lucazeau** Thibaut, 2018, *La géographie opérationnelle en gendarmerie : « cette philosophie de la géographie que la gendarmerie ignore »*, Thèse de doctorat en géographie, spécialité géopolitique, Dir. Boulanger Philippe, Institut Français de géopolitique, Université de Paris VIII, 651 p.

Maslek Elayam, Maryam, Ray Cyril, Claramunt Christophe, 2021, « Modèle de graphe pour l'analyse des structures de trajectoires maritimes », In 21^{ème} édition de la conférence Extraction et Gestion des Connaissances (EGC), pp. 1-6

Maslek Elayam Maryam, Kerhoas Glady, Lambert du Cruet Vincent, Ray Cyril, Ménard Arnaud, 2022, “On the interest of hexagonal abstraction of maritime information”, OCEANS 2022, Hampton Roads, Hampton Roads, VA, USA, 5 p.

Majerowicz Jérémie, 2016, « Les SIG, une plateforme centrale pour le GEOINT », dans Boulanger Philippe (Dir.), *Géographie et guerre. De la géographie militaire au Geospatial Intelligence en France (XVIII^e-XXI^e siècle)*, Bulletin de la Société de géographie, pp. 199-207

Miossec Alain, 2014, *Géographie des mers et des océans*, Didact Géographie, Presses universitaires de Rennes, Rennes, 502 p.

Miossec Alain, 2021, « Assumer la globalité de la géographie », dans Pitte Jean-Robert, Michon Perrine (Dir.), *À quoi sert la géographie ?*, Académie des sciences morales et politiques, Société de géographie, Paris, pp. 77-91

Morel Eric, Boulanger Philippe, 2016, « La géolocalisation et le GEOINT comme outil d'analyse sociétales et géopolitique », dans Boulanger Philippe (Dir.), *Géographie et guerre. De la géographie militaire au Geospatial Intelligence en France (XVIII^e-XXI^e siècle)*, Bulletin de la Société de géographie, pp. 189-197

Morisseau Jean-Philippe, 2018, « Les défis du GEOINT français », *Défense et Sécurité Internationale*, n° 133, pp. 92-97

Mourton Jonathan Jay, 2022, *Gouvernance sécuritaire et technologie spatiale. Le Japon face aux mouvements insurrectionnels et terroristes en Asie du Sud-Est*, Thèse de doctorat en Géographie politique, culturelle et historique, Dir. Sevin Olivier, Sorbonne université, 518 p.

Ray Cyril, Iphar Clément, Napoli Aldo, Gallen Romain, Bouju Alain, 2015, “DeAIS project: Detection of AIS spoofing and Resulting Risks”, OCEANS'15 MTS/IEEE, Gênes, Italie, Mai 2015, pp. 1-6

Regnier Paul-David, 2008, *Dictionnaire de géographie militaire*, CNRS éditions, Paris, 348 p.

Mucchielli Alex (Dir.), 2009 (3^{ème} édition), *Dictionnaire des méthodes qualitatives en sciences humaines*, Paris, Armand Colin, Paris, 280 p.

Pelletier Philippe, 2017, *Quand la géographie sert à faire la paix*, Le Bord de l'eau, Bordeaux, 244 p.

Pumain Denise, 2017, « La géographie et les données massives », dans Bouzeghoub Mokrane et Mosseri Rémy (Dir.), *Les Big Data à découvert*, CNRS éditions, Paris, pp. 30-31.

Rosière Stéphane, 2001, « Géographie politique, géopolitique et géostratégie : distinctions opératoires », *L'Information Géographique*, vol. 65, n° 1 pp. 33-42

Tsatcha Dieudonné, Saux Eric, Claramunt Christophe, 2014, “A bidirectional path-finding algorithm and data structure for maritime routing”, *Journal of Geographical Information Science*, pp. 1355–1377

Van Puyvelde Damien, 2017, « Le renseignement géospatial américain dans les frappes contre Daech : une arme à double tranchant », *Stratégique*, vol. 3, n° 116, pp 223-232

Wæssner Raymond, 2010, « La territorialisation : proposition pour la compréhension du phénomène par une entrée systémique », *Revue d'Économie Régionale & Urbaine*, vol. 4, pp. 669-685

Rapports institutionnels

International Maritime Organization (IMO), 2020, SOLAS Consolidated Edition, 478 p.

International Telecommunication Union Radiocommunication Sector (ITU-R), 2014,

Recommendation ITU-R M.1371-5 - Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band, 148 p.

Ministère des Armées, Rapport du groupe de travail « Espace », 2019, Stratégie spatiale de défense, 70 p.

Ministère de l'Intérieur, 2020, Livre blanc de la sécurité intérieure, 332 p.

National Geospatial Intelligence Agency, Office of Geospatial-Intelligence Management, 2006, Nation

System for Geospatial Intelligence, Geospatial Intelligence (GEOINT) Basic Doctrine, 52 p.
National Geospatial Intelligence Agency, National System for Geospatial Intelligence, 2018,
Geospatial Intelligence (GEOINT) Basic Doctrine, 48 p.

Sitographie

Brodsky Isaac, H3: Uber's Hexagonal Hierarchical Spatial Index [En ligne]. Uber Technologies Inc, modifié en février 2024 [juillet 2023].

<https://www.uber.com/en-FR/blog/h3/>

Uber Technologies, H3-Hexagonal hierarchical geospatial indexing system [En ligne]. Docusaurus, modifié en février 2024 [mars 2020].

<https://h3geo.org/>

Institut national de l'information géographique et forestière, Géodésie [en ligne]. Institut national de l'information de l'information et forestière, Ministère de la transition écologique et solidaire, ministère de l'Agriculture et de l'alimentation, modifié le 27 juin 2023 [octobre 2022].

<https://geodesie.ign.fr/>

Morisseau Jean-Philippe, quelques questions sur le GEOINT [en ligne]. WordPress.com, modifié en août 2018 [août 2018].

<https://geointblog.wordpress.com/2017/01/09/la-decennie-decisive-du-geoint-1ere-partie>

Snow Dwaine, Adding a 4th V to BIG Data - Veracity [en ligne]. Blogger, modifié en décembre 2023 [octobre 2015].

<http://dsnowondb2.blogspot.com/2012/07/adding-4th-v-to-big-data-veracity.html>

Tabarly, Sylviane, 2005, Isotropie et anisotropie [en ligne]. Géoconfluence, modifié en mars 2023 [octobre 2016].

<http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/isotropie-anisotropie-1>.