

TAXONOMIE DES TÂCHES D'ANALYSE GÉOVISUELLE DE RISQUES

Application à la sécurité et sûreté maritimes

par Gabriel Vatin et Aldo Napoli

MINES ParisTech, CRC - Centre de recherche sur les risques et les crises
CS 10207, 1 rue Claude Daunesse
06904 Sophia Antipolis Cedex, France
gabriel.vatin@mines-paristech.fr, aldo.napoli@mines-paristech.fr

Le contrôle de la sécurité et la sûreté maritime requièrent une surveillance constante du trafic en mer, dans laquelle interviennent de nombreux acteurs : contrôleurs, analystes, etc. Des systèmes visuels (systèmes de surveillance maritime) permettent de gérer les dangers potentiels, les navires suspects, et de suivre la situation générale du trafic maritime. Néanmoins, ces systèmes présentent de lourdes charges cognitives, et aucun outil d'analyse n'est disponible pour faciliter ces nombreuses missions. Au cours des dernières années, le domaine de l'analyse géovisuelle s'est montré très efficace pour l'analyse de grandes quantités de données hétérogènes. De nouvelles méthodes ont été développées afin de faciliter l'analyse et la découverte de connaissances, par la visualisation. Pourtant, l'utilisation de tels environnements avancés peut s'avérer trop complexe, selon le profil de l'utilisateur, ou non adaptée à certaines utilisations. Il est donc fondamental d'étudier les tâches à mener lors de l'analyse de comportements à risques, afin d'utiliser des solutions adaptées. Dans cet article, nous proposons une étude des tâches d'exploration et d'analyse du trafic maritime par la visualisation d'information géographique. Par la suite, ces connaissances seront utilisées dans un système à base de connaissances pour une aide à l'analyse des données de trafic.

1 Contexte et objectifs

Utiliser des outils adaptés afin de mener une analyse visuelle dans de grands jeux de données est un problème qui a souvent été soulevé par la recherche au cours de ces dernières années (e.g., Mackinlay, Hanrahan, et Stolte, 2007 ; Wills et Wilkinson, 2010). La multitude des données disponibles et des solutions proposées par la recherche complique en effet le choix et l'utilisation de ces méthodes. Nous proposons d'étudier l'utilisation de l'analyse géovisuelle pour l'exploration et l'analyse de données de trafic maritime, pour l'étude de comportements à risques.

Le trafic maritime joue un rôle majeur dans le commerce mondial, représentant plus de 90% des échanges mondiaux de marchandises. Son importance économique en fait un domaine très sensible, qui demande une surveillance permanente. La sécurité et la sûreté de ce milieu doivent être contrôlées et analysées en quasi temps réel, afin de prévenir les accidents ou les activités illégales, par exemple, la piraterie, le trafic de drogue ou l'immigration clandestine,

qui sont toujours importants de nos jours selon les chiffres du Bureau maritime international (BMI).

L'Organisation maritime internationale (OMI) est une institution spécialisée des Nations unies qui définit les normes de sécurité des navires et du trafic, et liste toutes les informations relatives aux navires et événements maritimes. Ces informations proviennent généralement de messages AIS (*Automatic Identification System*), des dispositifs qui diffusent par ondes radio les informations relatives à l'identité, le statut, la position et la route (tableau 1) des navires. L'acquisition des données concernant la dynamique du navire est automatisée, et donc plus fiable que certaines données rentrées par l'équipage. La position, la vitesse, le cap, le type de navire et d'autres informations d'intérêt sont alors contrôlés en centres de surveillance (CROSS) grâce aux systèmes de surveillance maritime (SSM). Ils utilisent des cartes de la situation maritime sur la zone surveillée, et des tables de données en quasi temps réel. L'échelle de cette zone surveillée peut aller d'un simple port, à une zone plus large telle que la côte

méditerranéenne. La figure 1 donne un exemple de SSM opérationnel, situé dans un CROSS français le long de la côte méditerranéenne.

L'objectif principal de ces outils visuels est de détecter des comportements inhabituels ou dangereux en mer, qui pourraient être dus à une volonté humaine (attaque de pirate, échouage) ou à des événements incontrôlés (échouement, dérive, contexte météorologique dangereux, etc.). L'analyse des accidents ou attaques passés est une autre utilisation majeure dans le contrôle des risques maritimes. Des analystes recherchent alors la cause d'un accident, ou explorent les données historiques afin d'extraire des motifs dans les activités illégales. Ces modèles issus de l'analyse sont alors utilisés pour une surveillance approfondie a posteriori (Wybo, 2012).

Néanmoins, de nombreuses études menées pour l'amélioration des SSM mettent en évidence la nécessité d'apporter de nouveaux outils pour l'analyse et la visualisation des données maritimes, afin d'aider les opérateurs dans leurs tâches (Morel *et al.*, 2010 ; Riveiro et Falkman, 2011 ; Vatin et Napoli, 2013). Ces nouveaux outils se basent sur une modélisation des comportements et risques en mer, de manière à pouvoir être utilisés par des techniques d'apprentissage automatisées (data-mining) (Etienne, 2011 ; Idiri et Napoli, 2012), semi-automatisées (Spatial OLAP, réseaux bayésiens) (Bédard, Rivest, et Proulx, 2007 ; Chaze *et al.*, 2012) ou centrées sur l'utilisateur grâce à la visualisation (Devogele, 2009). Bien que les méthodes automatisées apportent d'importants résultats dans la découverte de motifs, les utilisateurs préfèrent garder le contrôle et baser leurs décisions sur une exploration visuelle. En effet, la visualisation ne provoque pas d'effet « boîte noire », tel que pourrait le faire un résultat issu automatiquement de data-mining. De plus, utiliser la visualisation pour l'analyse des données permet aux utilisateurs de mieux comprendre les motifs, et ainsi de mieux les mémoriser (Guo *et al.*, 2011).

Nous proposons de développer une description formelle des tâches d'exploration et d'analyse des données de trafic. Cette formalisation pourra être utilisée par la suite dans un système à base de connaissances (Vatine et Napoli, 2013), afin d'étudier les environnements d'analyse géovisuelle adaptés à une certaine démarche analytique. Dans ce papier, nous présentons essentiellement la formalisation des tâches d'exploration visuelle de données spatio-temporelles. La première partie de l'article présente les travaux effectués pour la représentation et l'analyse des données de trafic. La seconde partie traite ensui-

te de la description formelle d'un comportement à risque, et son utilisation pour la description du processus d'analyse géovisuelle.

2 Aide visuelle pour l'analyse du trafic

L'utilisation de l'analyse géovisuelle pour l'étude d'objets mobiles a grandement été développée par la recherche au cours de ces dernières années. Les données de déplacement ont en effet été utilisées afin de tester de nouveaux algorithmes d'analyse, et de nouveaux outils de visualisation tels que le *Space-Time Cube* ou le *Trajectory Wall* (Kraak, 2006 ; Andrienko et Andrienko, 2011 ; Buard et Brasebin, 2012). Dans le domaine de la surveillance maritime, les travaux récents de Riveiro (2011) et de Willems (2011) ont apporté de grandes améliorations dans l'utilisation de l'analyse géovisuelle pour la détection de comportements anormaux en mer. Ces recherches se basent respectivement sur des modèles de mélanges gaussiens (GMM) et des estimations par noyau (KDE) avancées afin de visualiser et comparer la cinématique des navires. Les travaux de Hurter (Hurter, Tissoires, et Conversy, 2009) ont aussi apporté de grandes avancées dans le développement de solutions visuelles et interactives avec des données de trajectoires à très petite échelle, appliqué au contrôle aérien.

Mais la grande diversité des méthodes proposées complique le choix de la géovisualisation à adopter pour mener une certaine tâche d'analyse. Des travaux de recherche remontant aux années 1990 et 2000 ont permis de développer des langages et des outils d'aide à l'utilisation de visualisations adaptées, selon le type de données utilisées (Shneiderman, 1996 ; Card et Mackinlay, 1997 ; Mackinlay, Hanrahan, et Stolte, 2007). Ces études montrent qu'afin d'être utilisés au sein d'un programme intelligent, le processus de visualisation (ou spatialisation de l'information) et le type des données à explorer doivent être décrits de manière formelle. Les modèles les plus intéressants pour la description du processus de visualisation sont ceux de Card et Mackinlay, ensuite étendus par la contribution de Hurter et Conversy (2007), ainsi que le *Data State Reference Model* de Chi (2000). Ces modèles permettent en effet de décrire la spatialisation des données, les filtres appliqués, la visualisation elle-même et les interactions proposées.

Dans le cadre de notre recherche, nous utilisons la définition de la visualisation comme métaphore spatiale de données hétérogènes, telle qu'elle a été donnée par Fabrikant et Skupin (2005) : la spatialisation

est définie comme une transformation de données basée sur des métaphores spatiales, dans le but de générer une représentation graphique cognitivement adaptée à l'exploration des données, ainsi que la découverte de connaissances dans des données multi-dimensionnelles. Cette définition est très proche du processus de la visualisation d'informations proposé par Chi, qui peut être utilisé dans une description formelle. En utilisant cette définition, les données géographiques et non-géographiques bénéficient toutes deux de cette description, dont la visualisation peut être formalisée grâce au modèle de Chi.

Le *Data State Reference Model* est représenté sur la figure 2, ainsi que son utilisation pour la description de la visualisation de données maritimes simples, telle que la position des navires. Les données brutes (valeurs) sont les positions des navires au moment de la réception des messages AIS sur un serveur. L'abstraction analytique est ensuite la traduction en couple mathématique (lon,lat) \square $[-180,180] \times [0,90]$. L'abstraction visuelle est la projection des points dans un espace plan. Finalement, la vue représente l'espace cartographique et les contrôles d'interaction (navigation, zoom, filtre, etc.). Sur cette figure, la carte représente la position des navires dans la mer du Nord (nord des Pays-Bas), le 15 mars 2013 à 11h15.

Au sein d'une carte interactive, ou de tout autre environnement pour l'analyse géovisuelle, l'information visualisée peut provenir d'information concrète géolocalisée (positions des navires, trajectoires, météorologie), d'information concrète non géographique (type de navire, taille) ou d'information abstraite (classification de données, agrégation de données, alertes, scénario, etc.). Afin de détecter des risques par la visualisation, le maximum des informations nécessaires à l'analyse des risques, et *a fortiori* à la prise de décision, doit être visualisé. Dans le cadre de la surveillance maritime, Idiri et Napoli (2012) définissent le risque comme la combinaison d'un comportement (cinématique d'un navire), d'une zone géographique (dangerosité) et d'une situation (par exemple type de navire, visibilité). Ce sont ces informations qu'il est nécessaire de prendre en compte dans l'analyse géovisuelle pour l'étude des comportements à risques.

Dans la partie suivante, nous nous intéressons aux spécificités de la gestion des risques, ainsi que son application au domaine maritime grâce à l'utilisation de plateformes visuelles. Nous décrivons les principales étapes de la gestion de risques, et présentons ensuite un exemple de géovisualisation appliquée à un événement maritime d'intérêt.

3 Formalisation des tâches d'analyse en gestion de risques

3.1 Tâches d'analyse géovisuelle de haut niveau

Selon les travaux de Wybo (2012), le processus de maîtrise des risques peut être divisé en quatre étapes successives (fig. 3). Ce processus permet de mettre en évidence la découverte de nouvelles connaissances dans le système surveillé, ainsi que de réutiliser ce savoir de manière efficace. La phase d'anticipation correspond à la modélisation des risques connus, qui doivent être contrôlés et prévenus. Les caractéristiques d'intérêt afin de les reconnaître dans l'évolution du système doivent être clairement identifiées. La deuxième phase, la vigilance, représente le contrôle du système d'intérêt, grâce à la surveillance constante de celui-ci. Le contrôle peut être défini comme la comparaison entre l'état normal et idéal (attendu) d'un système, et son état réel, ainsi que la gestion des écarts significatifs entre ces deux états (Hollnagel et Woods, 2005). Lorsque des événements inattendus surviennent, une analyse précise de la situation doit être menée afin de prendre des décisions adéquates (phase 3), et mettre ainsi à jour de nouvelles règles pour la modélisation des risques (phase 4).

Ce processus de maîtrise des risques souligne les tâches les plus importantes qui doivent être rendues possibles dans l'utilisation de l'analyse géovisuelle pour l'étude de comportements à risques. En se basant sur les trois premières étapes de cette boucle, l'utilisation de l'information géographique doit donc permettre (1) la caractérisation des risques, (2) la surveillance du système d'intérêt et (3) l'analyse des événements. Il est donc nécessaire de comparer ces tâches générales pour la gestion de risques aux possibilités offertes par l'analyse géovisuelle.

Dans le cadre de l'exploration des trajectoires d'objets mobiles, Andrienko et Andrienko (2013) identifient quatre niveaux dans l'utilisation de l'analyse géovisuelle. Ces types d'analyse sont, dans l'ordre proposé par les auteurs : (1) *Looking at trajectories*, la visualisation et le regroupement des trajectoires ; (2) *Looking inside trajectories*, approfondir l'exploration des attributs, des motifs et des événements ; (3) *Bird's-eye view on movement*, analyser la densité, la présence des objets et généraliser à l'échelle des individus ou des flux ; (4) *Investigating movement in context*, comparaison des données de mobilité par rapport au contexte géographique où elles se situent.

Nous proposons une taxonomie de haut niveau des tâches d'analyse géovisuelle pour la surveillance et l'analyse des données de trafic, cette étape étant fondamentale pour une utilisation de visualisations adéquates (Fabrikant et Skupin, 2005). Afin de décrire les tâches d'exploration et d'analyse, nous proposons quatre grands concepts (tâches de haut niveau). L'identification générale est la première étape dans l'exploration des données. Elle consiste à retrouver des objets d'intérêt depuis des motifs connus (par exemple, extraits de data-mining) ou à identifier des objets (reconnaître le nom et les attributs des objets sélectionnés). L'analyse spatio-temporelle permet d'analyser la cinématique, les arrêts et la trajectoire des objets mobiles. Les événements passés et les comportements des objets vont être expliqués en comparant les objets et leur contexte, dans le temps et l'espace. L'analyse du contexte regroupe la recherche d'informations qui puissent caractériser le contexte géographique, et son interaction avec les données étudiées. Ce contexte peut être des informations météorologiques, bathymétriques, ou bien sur la dangerosité de la zone (attaques passées de pirates, densité de navires, etc.). L'interprétation des risques finalise l'étude des objets mobiles. On recherche une possible corrélation entre l'analyse spatio-temporelle et l'analyse du contexte, afin d'expliquer un événement passé, ou ce qui peut se passer. Le tableau 2 liste ces tâches de haut niveau, et donne des exemples d'utilisation de l'analyse géovisuelle pour chaque concept. Les tâches de bas niveau sont ensuite des spécifications de ces grandes tâches : celles-ci vont dépendre du type de risque à analyser et des informations à utiliser.

Dans la partie suivante, nous décrivons un scénario d'intérêt afin d'illustrer le principe d'interaction entre les objets visualisés, leur comportement et les informations de contexte. Nous expliquons aussi en quoi la visualisation va jouer un rôle important, par rapport à une solution entièrement automatisée.

3.2 Analyse visuelle d'un événement de pêche illégale

Nous choisissons d'utiliser une approche ascendante (*bottom-up*) afin d'identifier les différentes étapes et les éléments à prendre en compte dans notre processus d'analyse. À partir de risques connus ou de comportements interdits, nous décrivons les différentes tâches à effectuer pour leur reconnaissance au sein des données de trafic.

Les types de risques et comportements dangereux qu'on peut détecter et analyser sont nombreux :

pêche illégale, trajectoire anormale, trafic de drogue, attaque volontaire, comme dans le cas de la piraterie, etc. Afin d'étudier la contribution de l'analyse géovisuelle pour la gestion de ces risques, nous utilisons ici l'exemple de la pêche illégale. Une telle alerte peut être déterminée par deux navires de pêche ayant des trajectoires parallèles (pêche en parallèle), ou un navire de pêche ayant une trajectoire circulaire. L'arrêt en pleine mer d'un navire de pêche est aussi un comportement interdit pour ce type de navire. Vandecasteele et Napoli (2012) ont modelé certains types de risques grâce à des ontologies, dans le but d'automatiser la génération d'alertes dans un flux de données en temps réel. Dans le cadre de l'analyse géovisuelle, les mêmes concepts proposés par ces auteurs doivent être visualisés, de manière à ce qu'un être humain puisse mener le même raisonnement grâce à la visualisation.

La modélisation de ces concepts grâce à des éléments visuels peut alors aller de la visualisation d'éléments géographiques pour l'exploration ou l'analyse (géovisualisation) (MacEachren, 1995), à l'utilisation plus avancée de visualisations liées dynamiquement et utilisant des données géographiques, scientifiques et abstraites pour l'extraction d'hypothèses (analyse géovisuelle) (Schiewe, 2013).

La figure 4 illustre le cas de la détection automatique d'une pêche illégale, basée sur un raisonnement ontologique et géographique. Néanmoins, cet exemple ne montre que quelques caractéristiques, qui ne sont pas suffisantes pour raisonner par la visualisation : le type de navire est *Fishing* (couleur de l'objet), et il est situé dans une zone de circulation interdite (DST). Cette figure étant un cliché du trafic à un instant donné, la cinématique de cet objet n'est pas visible. Pourtant, il est nécessaire de visualiser des informations sur la vitesse (arrêt du navire ?), ainsi que sur la route de ce navire afin que l'utilisateur comprenne la situation actuelle. Sans ces informations, l'opérateur humain ne peut pas savoir s'il y a une infraction ou non : dans ce cas, un possible arrêt du navire en zone interdite. Un processus automatisé basé sur des ontologies peut étudier les informations issues de la base de données, mais la visualisation des informations doit être complétée afin d'aider l'utilisateur dans son analyse.

Afin d'améliorer cette visualisation, la figure 5 comporte en plus la route passée du navire, grâce à une échelle de couleur représentant la vitesse (en nœuds), et la vitesse et cap actuels représentés par un vecteur proportionnel. Ces représentations simples supplémentaires permettent de comparer la situation courante à un éventuel comportement inter-

dit ou dangereux, qui aurait été caractérisé en amont. Dans ce cas, il est possible d'extrapoler visuellement la trajectoire future du navire, et de comprendre si le navire est sur le point de s'arrêter ou non (donc de commettre une infraction).

Dans le cadre du même scénario, une information particulièrement intéressante à visualiser dans la cinématique des navires sont les arrêts. Détecter cet événement dans le simple affichage de la trajectoire et de la vitesse n'est pas possible en 2D, un arrêt étant matérialisé par un point. Deux solutions peuvent être proposées. Premièrement, utiliser un cube spatio-temporel en 3D de manière à visualiser la vitesse des objets mobiles par la pente des lignes : une faible pente indique que l'objet s'est déplacé sur une longue distance (plan XY) en peu de temps (axe Z), sa vitesse est donc grande. L'accent est mis ici sur le temps et la dynamique d'un objet particulier, mais l'information sur le contexte et les autres objets mobiles proches est perdue, ou moins mise en valeur. Une seconde solution est de visualiser les arrêts sous forme de symboles, dont une variable visuelle représenterait la durée de cet arrêt. De cette manière, une nouvelle variable visuelle est utilisée dans l'environnement 2D de base, sans empêcher de visualiser le reste de l'information (contexte, trajectoire, etc.).

La figure 6 illustre ce type de carte de trajectoire et d'arrêts en mer : la taille et la couleur des cercles représentent la durée de l'arrêt, regroupés en 3 classes (< 1min, 1 min - 60 min, > 60min). Des informations supplémentaires sont fournies en cliquant sur ces éléments (*details-on-demand*). Utiliser ce type de visualisation plane, dynamiquement liée à un graphe de la vitesse passée, simplifie la recherche d'arrêts longs et l'information de localisation dans l'espace et le temps. Sur cet exemple, le graphe de vitesse montre un long arrêt, mais l'interaction avec la carte confirme qu'il s'agit d'un arrêt dans un port.

De ces exemples d'analyse de comportements, quelques catégories d'information d'intérêt pour l'analyse géovisuelle peuvent être mises en évidence. Les travaux de Vandecasteele et Napoli (2012) et d'Idiri et Napoli (2012) ont montré que les comportements à risque peuvent être décrits par l'interaction des données géométriques (objets surveillés), des données de contexte, des données temporelles (intervalle d'intérêt), des données cinématiques et autres attributs des objets. Pour l'analyse par la visualisation, chacun de ces niveaux d'information doit être pris en compte dans l'environnement d'ana-

lyse géovisuelle, comme vu dans l'exemple précédent. Dans un environnement homme-machine, trois parties complémentaires dans la visualisation doivent alors être utilisées et liées dynamiquement : l'espace cartographique, l'espace attributaire et l'espace temporel. Dans chacun de ces espaces, une même information peut être représentée plusieurs fois (par exemple, la vitesse sur une carte et un diagramme de vitesse) afin d'améliorer l'analyse et la compréhension des motifs.

Lors du futur développement des tâches de bas niveau pour le processus d'analyse géovisuelle, il sera donc nécessaire de décrire le type d'information (temps, espace, attribut, etc.), le nombre de données nécessaires à cette tâche et l'étendue ou l'échelle de ces données (dans l'espace et le temps).

4 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous avons étudié le rôle majeur de la géovisualisation pour l'analyse d'objets mobiles, appliquée au trafic maritime. Nous avons pu voir l'importance de formaliser les diverses tâches d'analyse et les événements possibles en mer, notamment les risques connus, afin de proposer des environnements d'analyse géovisuelle adaptés. Des espaces d'information pour visualiser l'espace, le temps et les attributs doivent être mis au point de manière cognitivement adaptée à l'utilisation, et contrôlés par des outils interactifs pour l'exploration et l'analyse de données. La connaissance précise du type d'analyse à mener, les caractéristiques du comportement à étudier et le profil de l'utilisateur nous aideront à concevoir des environnements d'analyse géovisuelle adaptés.

Comme nous avons pu le voir dans les parties précédentes, la compréhension de visualisations et l'efficacité de leur utilisation dépend fortement des compétences et du profil de l'utilisateur. Si l'utilisateur ne comprend pas une méthode de visualisation, par manque de formation par exemple, celle-ci ne pourra pas être correctement utilisée, voire même non utilisée. Dans cette optique, il est nécessaire de mener des évaluations d'environnements d'analyse géovisuelle sélectionnés, afin d'étudier les préférences et l'efficacité d'utilisation. Le travail à venir portera donc sur (1) l'extension des tâches d'analyse vers un niveau plus fin, (2) l'élaboration de règles pour l'utilisation des méthodes sélectionnées d'analyse géovisuelle et (3) l'évaluation de l'utilité et de la facilité d'utilisation de ces méthodes.

Bibliographie

- Andrienko N., Andrienko G.**, 2011, « Spatial generalization and aggregation of massive movement data », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol.17, n° 2, p. 205 -219.
- Andrienko N., Andrienko G.**, 2013, « Visual analytics of movement: an overview of methods, tools and procedures », *Information Visualization*, vol.12, n° 1, p. 3-24.
- Bédard Y., Rivest S., Proulx M.-J.**, 2007, « Spatial On-Line Analytical Processing (SOLAP): Concepts, architectures and solutions from a geomatics engineering perspective », dans Wrembel R., Koncilia C., *Data Warehouses and OLAP: Concepts, Architecture and Solutions*, p. 298-319.
- Buard E., Brasebin M.**, 2012, « Exploration visuelle de trajectoires de grands animaux », *Cartes & géomatique* n° 211, p. 101-113.
- Card S.K., Mackinlay J.**, 1997, « The structure of the information visualization design space », *Proc. of the 1997 IEEE Symposium on Information Visualization*, p. 92-99. Washington, DC, USA.
- Chaze X., Bouejla A., Napoli A., Guarnieri F.**, 2012, « Integration of a bayesian network for response planning in a maritime piracy risk Management system », *Proc. of 7th International Conference on System of Systems Engineering*. Gênes, Italie.
- Chi, E.H.**, 2000, « A taxonomy of visualization techniques using the data state reference model », *Proc. of the IEEE Symposium on Information Visualization*, p. 69-76. Salt Lake City, USA.
- Devogele T.**, 2009, « Système d'information géographique temporelle maritime - Des distances linéaires à l'analyse temps réel des trajectoires », Université de Bretagne occidentale.
- Etienne L.**, 2011, « Motifs spatio-temporels de trajectoires d'objets mobiles, de l'extraction à la détection de comportements inhabituels - Application au trafic maritime », Brest, Institut de recherche de l'École navale.
- Fabrikant S.I., Skupin A.**, 2005, « Cognitively Plausible Information Visualization », dans Dykes J., MacEachren A.M., Kraak M.-J., *Exploring Geovisualization*, Elsevier Ltd., p. 667-690.
- Guo H., Wang Z., Yu B., Zhao H., Yuan X.**, 2011, « TripVista: Triple perspective visual trajectory analytics and its application on microscopic traffic data at a road intersection », *Proc. of IEEE Pacific Visualization Symposium 2011*, p. 163-170.
- Hollnagel E., Woods B.D.**, 2005, *Joint Cognitive Systems: Foundations of Cognitive Systems Engineering*, 1re édition, CRC Press.
- Hurter C., Conversy S.**, 2007, « Extension d'un modèle de visualisation pour la caractérisation d'interfaces graphiques dynamiques », *Proc. of the 19th International Conference of the Association Francophone d'Interaction Homme-Machine*, p. 39-42.
- Hurter C., Tissoires B., Conversy S.**, 2009, « FromDaDy: Spreading aircraft trajectories across views to support iterative queries », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol.15, n° 6, p. 1017-1024.
- Idiri B., Napoli A.**, 2012, « Découverte de règles d'association pour l'aide à la prévision des accidents maritimes », *Revue des Nouvelles Technologies de l'Information*, vol.23, p. 243-248, Bordeaux, France: Editions Hermann.
- Kraak, M.-J.**, 2006, « Beyond Geovisualization », *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol.26, n° 4, p. 6-9.
- MacEachren A.M.**, 1995, *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*, 2nd Revised edition. Guilford Publications.
- Mackinlay J.D., Hanrahan P., Stolte C.**, 2007, « Show Me: Automatic Presentation for Visual Analysis », *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol.13, n°6, p. 1137-1144.
- Morel M., Napoli A., George J.-P., Jangal F., Giraud M.-A., Botalla M.**, 2010, « Surveillance et contrôle des activités des navires en mer: ScanMaris », *Proc. of Workshop Interdisciplinaire sur la Sécurité Globale*, Troyes, France.
- Riveiro, M.**, 2011, « Visual analytics for maritime anomaly detection », University of Skövde.
- Riveiro M., Falkman G.**, 2011, « The role of visualization and interaction in maritime anomaly detection », *Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging*, vol.7868:78680M, p. 1-12, San Francisco, CA, USA.
- Schieve J.**, 2013, « Geovisualisation and geovisual analytics », *Kartographische Nachrichten* (Special Issue 2013), p. 122-126.
- Shneiderman B.**, 1996, « The Eyes Have It: A task by data type taxonomy for information visualizations », *Proc. of the IEEE Symposium on Visual Languages*, p. 336-343, Boulder, USA.

Vandecasteele A., Napoli A., 2012, « Spatial ontologies for detecting abnormal maritime behaviour », *OCEANS 2012 MTS/IEEE Yeosu Conference: The Living Ocean and Coast - Diversity of Resources and Sustainable Activities*, p. 1-7, Yeosu, South Korea.

Vatin G., Napoli A., 2013, « Guiding the controller in geovisual analytics to improve maritime surveillance », *Proc. 5th International Conference on Advanced Geographic Information Systems, Applications, and Services (GEOProcessing 2013)*, p. 26-31, Nice, France.

Willems N., 2011, *Visualization of vessel traffic*, Technische Universiteit Eindhoven.

Wills G., Wilkinson L., 2010, « AutoVis: Automatic visualization », *Information Visualization*, vol.9, n° 1, p. 47-69.

Wybo, J.-L., 2012, *Maîtrise des risques et prévention des crises*, Paris, Ed. Lavoisier (Collection Tec & Doc).

Champ	Description	Exemple
MMSI	Maritime Mobile Service Identity	236152040
IMO	Identifiant donné par l'OMI	927851
shipname	Nom du navire	NIZZA LA BELLA
country	Pays d'immatriculation	France
destination	Destination	HOME
shiptype	Type de navire, selon l'OMI	Fishing
shiplength	Longueur (m)	18
shipdraught	Tirant d'eau (m)	3
lon	Longitude (°)	13.9751316
lat	Latitude (°)	55.001736
sog	Vitesse (nd)	3.4
rot	Vitesse angulaire (°/s)	0
heading	Direction (°)	125
navstatus	Description du statut du navire	Engaged_in_Fishing
utctime	Date et heure du message AIS	2013-03-13 8:04:36.399

Tableau 1 : Données contenues dans un message AIS

Tâche	Description	Exemple d'utilisation de l'analyse géovisuelle
Identification générale	Retrouver des objets d'intérêt depuis des motifs connus, caractériser une zone	Visualiser la route d'un navire. Identifier un navire.
Analyse spatio-temporelle	Analyser la cinématique, les arrêts et la trajectoire des objets mobiles	Détecter un arrêt en pleine mer. Analyser deux trajectoires parallèles.
Analyse du contexte	Recherche d'informations caractérisant le contexte géographique, et son interaction avec les objets mobiles	Cartographier les zones à haut risque d'accident. Représenter les grands couloirs de déplacements.
Identification des risques	Synthèse pour interpréter un événement, les évolutions futures et risques possibles	Identifier les navires proches et sensibles. Interpréter un comportement.

Tableau 2 : Tâches de haut niveau pour l'analyse géovisuelle de données de trafic

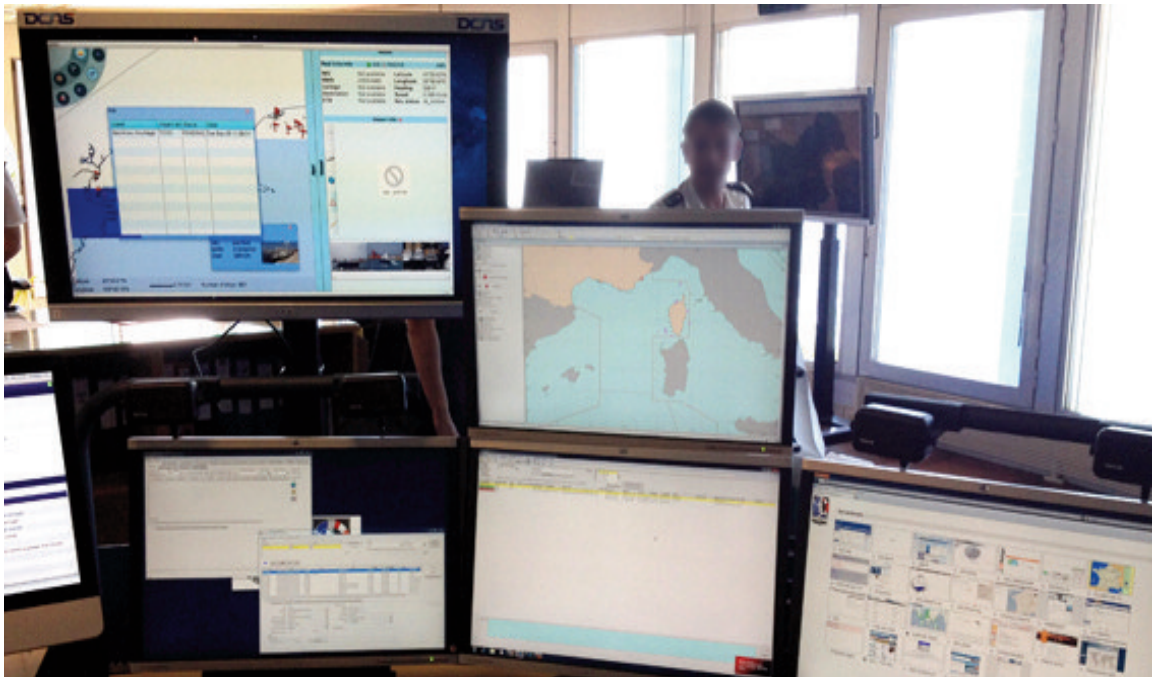


Figure 1 : Système de surveillance maritime au CROSS-Med La Garde (Var, France)

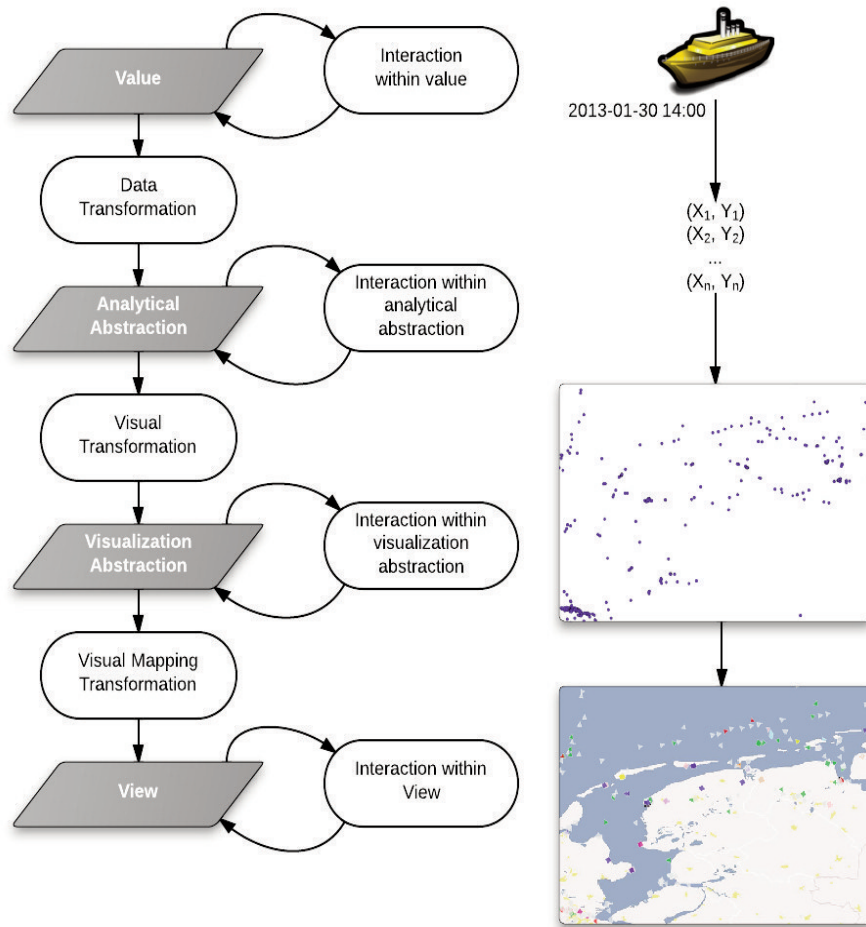


Figure 2 : Data State Reference Model pour la description du processus de visualisation (d'après Chi, 2000), et exemple de la cartographie des positions des navires

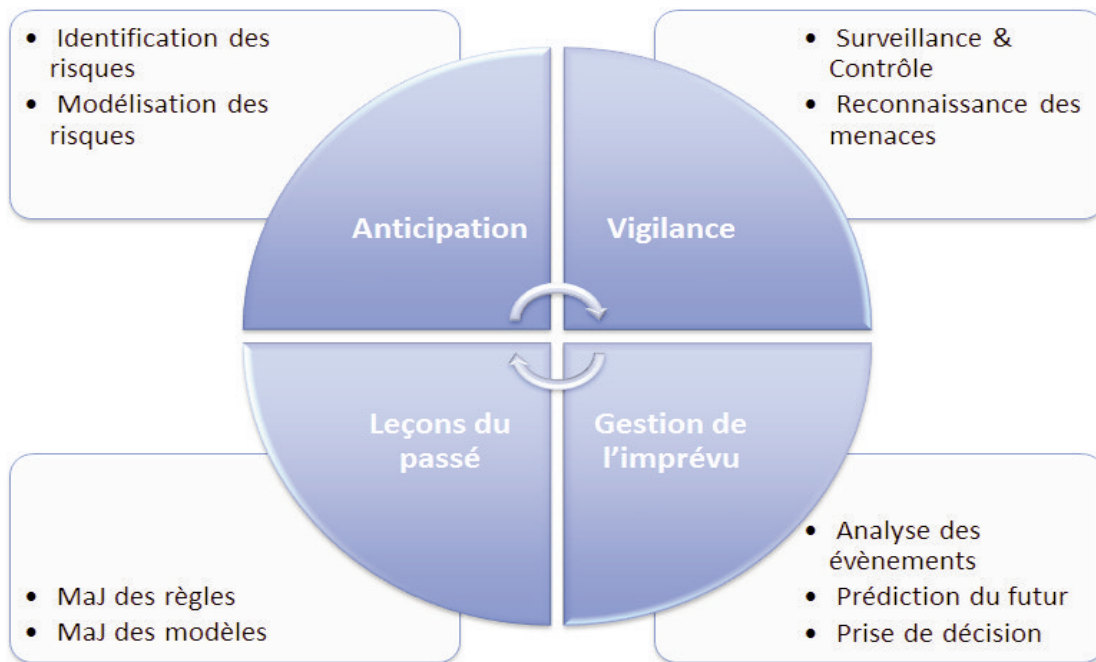


Figure 3 : Processus de maîtrise des risques (d'après Wybo, 2012)

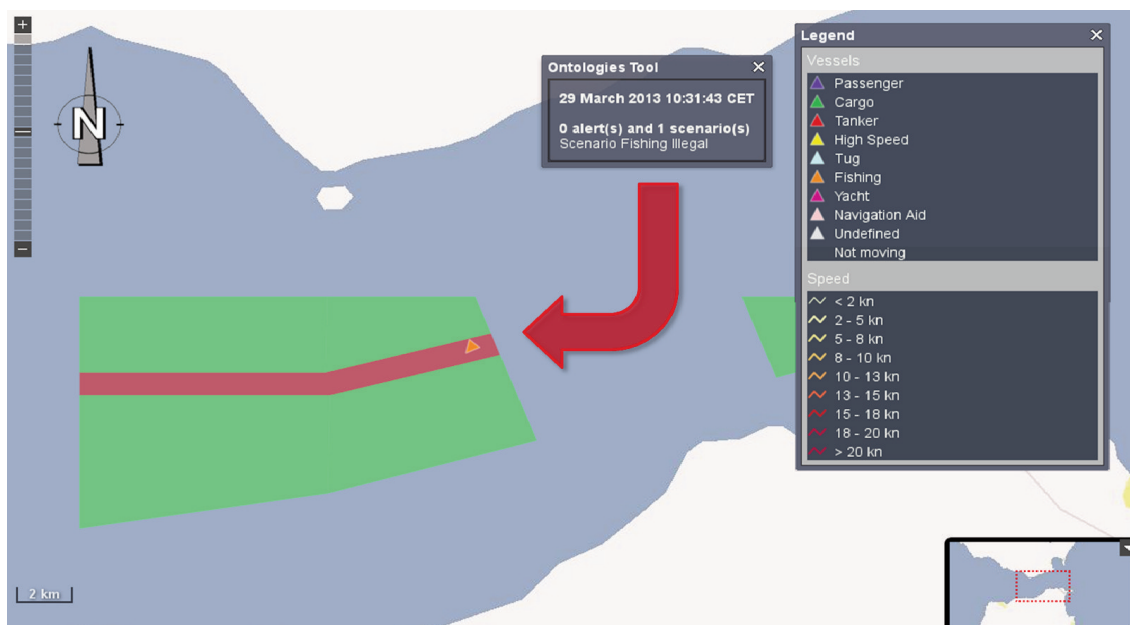


Figure 4 : Navire de pêche (triangle orange) pénétrant dans un couloir de trafic interdit, dans le détroit de Gibraltar

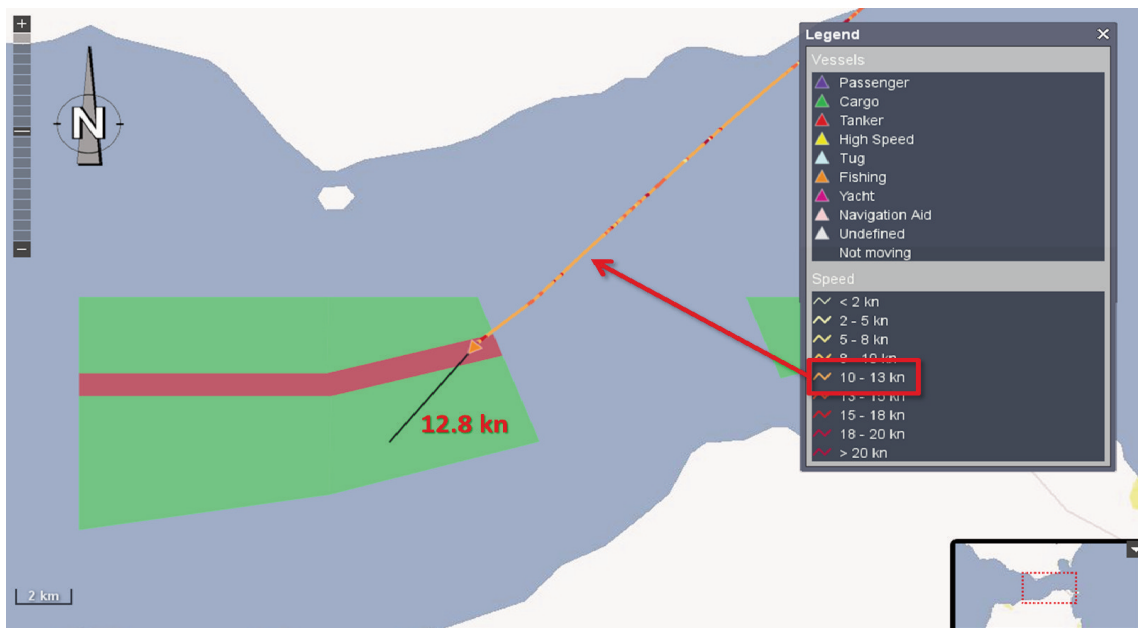


Figure 5 : Le même navire de pêche, avec des informations supplémentaires sur la vitesse et la trajectoire

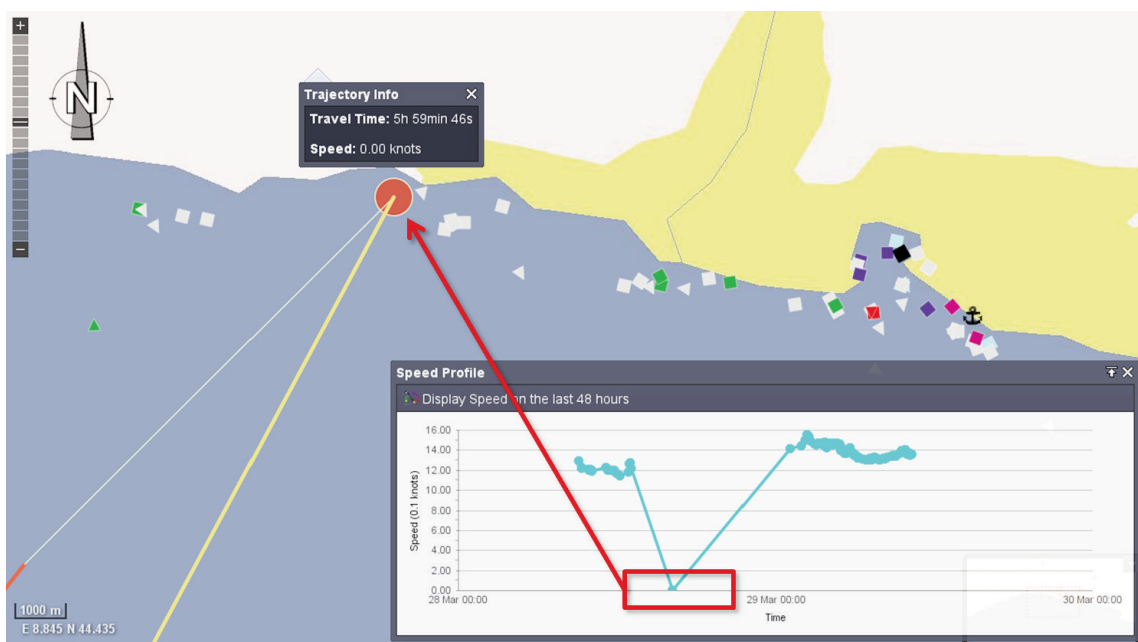


Figure 6 : Trajectoire, vitesse et arrêts d'un navire