

LA GEOVISUALISATION, OUTIL D'ANALYSE POUR LE RENSEIGNEMENT GEOSPATIAL

par Vincent Caillard

Institut national de l'information géographique et forestière, DPDE, IGN Espace
6 avenue de l'Europe 31521 Ramonville
vincent.caillard@ign.fr

Face à la quantité croissante de données géospatiales produites par les différents capteurs, l'analyse de données représente un défi important. Le renseignement géospatial est une discipline qui a pour vocation de combiner les données géographiques de référence (vecteurs, cartes, images, modèles de terrain, etc.) avec les données issues des autres domaines du renseignement (d'origine humaine, électromagnétique, etc.) grâce à leur composante spatiale. Il joue donc un rôle critique parmi les autres disciplines de renseignement car il permet l'analyse simultanée d'un grand nombre d'informations au travers de leur géolocalisation. Cette considération globale permet de mettre en évidence des phénomènes d'intérêts grâce au croisement des différentes sources et d'optimiser l'évaluation d'une situation opérationnelle à des fins de défense ou de sécurité. Notre étude s'intéresse à la géovisualisation comme outil d'analyse pour les besoins du renseignement géospatial. En effet, celle-ci offre une capacité d'analyse intéressante dans la mesure où elle permet d'interagir avec les données et leurs représentations graphiques pour en extraire des connaissances et faciliter la compréhension. Nous montrons donc que la géovisualisation est une brique essentielle du processus de création et d'exploitation du renseignement géospatial. Nous étudions ensuite les leviers qui améliorent l'interaction entre l'utilisateur et la représentation pour les applications de défense et de renseignement : la représentation elle-même grâce à la sémiologie, l'interactivité, de la visualisation à la création de connaissance et le niveau d'abstraction nécessaire suivant l'usage. Ces différents points sont déclinés pour les représentations de type 2D ou de type 3D. Les résultats montrent notamment que la complémentarité entre les différents types de représentations permet de s'adapter aux usages avec une conception et une utilisation plus efficaces pour les applications de défense et de renseignement. L'évolution des technologies, une approche pluridisciplinaire de la recherche et la prise en compte des besoins des utilisateurs promettent encore davantage d'optimisations à venir.

Introduction

Face à la quantité croissante de données produites par les différentes sources, l'analyse de données représente un défi important. Le renseignement géospatial (ou en anglais *Geospatial Intelligence* abrégé par l'acronyme GEOINT communément utilisé) est une discipline qui a pour vocation de combiner les données géographiques de référence (vecteurs, cartes, images, modèles de terrain, etc.) avec les données issues des autres domaines du renseignement (d'origine humaine, électromagnétique, etc.) grâce à leur composante spatiale. Le renseignement géospatial joue donc un rôle critique parmi les autres disciplines de renseignement car il permet l'analyse simultanée d'un grand nombre d'informations au travers de leur dimension spatiale. Cette considération globale permet d'optimiser l'analyse de situation opérationnelle à des fins de défense et de sécurité.

La géovisualisation est un domaine scientifique et technique s'intéressant à la production et à l'utilisation d'outils dynamiques et interactifs pour afficher des données géographiques et des cartes permettant à un utilisateur de raisonner sur ces représentations. Ce domaine met en œuvre des connaissances en visualisation de données géographiques combinant les apports de l'information géographique, de l'analyse cognitive et de l'informatique graphique.

Nous verrons en quoi la représentation joue un rôle important dans la construction du renseignement géospatial et comment les résultats des travaux en géovisualisation 2D et 3D permettent d'envisager des optimisations pour les applications du domaine de la défense et du renseignement.

De la donnée au renseignement : le rôle de la géovisualisation

La construction du renseignement géospatial

Le renseignement géospatial ne se contente pas de produire une donnée géographique brute mais un produit analysé à haute valeur ajoutée. Ce produit est le résultat de l'exploitation simultanée d'informations géographiques qui décrivent la géographie physique ou humaine d'un lieu et d'informations de renseignement qui apportent des éléments thématiques. Nous pouvons modéliser son processus de réalisation en utilisant le schéma théorique donnée – information – connaissance – renseignement (figure 1) : on considère que le renseignement géospatial (GEOINT) résulte de la combinaison d'informations géographiques et de diverses informations géolocalisées de renseignement d'origine humaine (ROHUM), d'origine électromagnétique (ROEM), etc. Cette intégration combinée permet de créer de la connaissance car la considération de cet ensemble permet d'aller plus loin qu'une simple description du territoire grâce à un apport d'informations sur le contexte. Alors que ces données considérées individuellement n'apporteraient qu'une vision partielle et biaisée de la situation opérationnelle, l'analyse simultanée de cet ensemble en facilite la compréhension globale en mettant en évidence des phénomènes d'intérêts grâce au croisement des différentes sources. A partir de ces connaissances, le renseignement géospatial, en tant que tel, est élaboré grâce au travail d'un spécialiste, un analyste, qui va considérer tous les éléments disponibles pour réaliser son analyse de situation.

Le rôle de la géovisualisation

La géovisualisation joue un rôle important tout au long de ce processus de création de valeur ajoutée (figure 1) car elle permet d'optimiser la visualisation et l'analyse conjointe de données issues de sources diverses. Elle permet donc de catalyser le passage de la donnée brute à la donnée informative :

- de la donnée à l'information : la représentation consiste à faire des choix qui nécessitent un premier niveau d'analyse pour extraire la signification et la transmettre à l'utilisateur via une représentation graphique, telle que la carte ou la visualisation 3D ;
- de l'information à la connaissance : la géovisualisation permet de fusionner et de covisualiser les informations géographiques et celles de renseignement facilitant la compréhension de la situation opérationnelle ;
- de la connaissance au renseignement : les ou-

tils de géovisualisation permettent, notamment grâce à leur interactivité, d'exploiter l'ensemble des connaissances colocalisées pour réaliser une analyse critique de situation ;

- la géovisualisation intervient ensuite à nouveau pour représenter de la manière la plus pertinente possible le produit du renseignement.

Le choix des signes graphiques est une étape importante de la conception de la géovisualisation : des variables visuelles issues de la sémiologie graphique sont combinées pour qualifier, quantifier, hiérarchiser, discriminer et associer des données géographiques et ainsi présenter une première interprétation sous la forme d'une cartographie ou d'une visualisation 3D.

Les variables visuelles communément considérées sont les suivantes :

- celles proposées par Bertin (1967) dans le cadre de la sémiologie graphique qui sert de cadre formel à la cartographie 2D : les variables de séparation (orientation, forme, couleur, grain) et les variables d'ordre (taille, valeur) ; d'autres variables ont été proposées par Morrison (1974), saturation et arrangement, et par MacEachren, (1995), le flou, la résolution (des contours et des images) et la transparence ;
- en 3D, des auteurs ont exploré la possibilité de proposer des variables visuelles 3D (Neubauer et Zipf, 2007, Brasebin *et al.* 2015) à partir des paramètres graphiques utilisés en 3D (netteté, dynamique, saturation, profondeur, orientation, etc.), néanmoins il n'existe pas encore de théorie de sémiologie graphique 3D à proprement parler (Häberling, 2008).

La géovisualisation permet ainsi de passer du « signe » au « sens » en sollicitant chez l'utilisateur des mécanismes perceptifs et cognitifs qui lui permettent de comprendre l'information, de l'interpréter, de créer des relations entre les objets géographiques et d'extraire des informations sur des phénomènes spatio-temporels. Elle offre à l'utilisateur la possibilité de découvrir des éléments inconnus en combinant les éléments connus. L'analyse de renseignement géospatial nécessitera toujours un raisonnement humain pour porter une pensée critique sur l'information mise à disposition, la géovisualisation facilite la compréhension de la situation opérationnelle de l'analyste qui peut alors se concentrer sur sa tâche d'analyse critique. Il faut donner à l'information les moyens de déclencher chez lui le mécanisme perceptif qui lui permettra de corrélérer différentes entrées pour mettre en évidence des phénomènes d'intérêts et procéder à son analyse de situation.

Cette problématique de géovisualisation est importante dans le contexte actuel où le nombre croissant de capteurs apporte un volume de données de plus en plus important qu'il est nécessaire de trier. Elle est une brique essentielle dans le processus d'analyse de la donnée, il paraît donc opportun de s'interroger sur la construction d'une interaction efficace entre l'utilisateur et l'information.

Interaction entre l'utilisateur et l'information géospatiale

Efficacité de l'interaction

L'interaction entre l'utilisateur et l'information géospatiale met en œuvre un grand nombre de paramètres en termes de représentation de la donnée et de perception. La construction d'une interaction efficace paraît complexe mais même si on ne peut pas en maîtriser tous les paramètres il existe des moyens pour l'optimiser et améliorer ainsi la création de connaissance. Metz (1971) donne une définition pertinente sur ce sujet : « un graphique est d'autant plus efficace qu'est élevé le nombre des questions auxquelles il permet de répondre par une seule image. Il ne s'agit donc pas de l'efficacité esthétique [...] mais très précisément de la rapidité et de la netteté dans la transmission du plus grand nombre possible d'informations ». La transmission d'informations dépend ainsi de la lisibilité de la représentation et donc de la qualité de la sémiologie graphique, comme nous l'avons mentionné au paragraphe précédent (§1), et du niveau de généralisation de l'information.

Un autre élément-clé de la transmission d'information est l'adaptation de cette dernière à l'utilisateur. L'information sera perçue d'autant plus efficacement par l'utilisateur si elle s'adapte à son contexte : ses connaissances, son expérience, sa culture et son besoin. On considère alors qu'il faut adapter le message par rapport aux clés de compréhension de l'utilisateur ce qui implique de connaître ce dernier. Certaines couleurs ou certaines structures seront interprétées différemment suivant les capacités cognitives et perceptives, les besoins et préférences de l'utilisateur et son contexte d'utilisation (Christophe, 2011). La modélisation de Kolacny (1969) (figure 2) montre que le concepteur de l'information géographique modélise la réalité du terrain avec son langage cartographique : ses choix d'abstraction, de simplification et de représentation. Le résultat est alors consulté par l'utilisateur qui va décrypter l'information avec ses clés de compréhension et son expérience. Il peut en déduire une réalité du terrain différente de celle du concepteur de l'information, la différence entre les deux perceptions peut être réduite si le concepteur adapte ses

choix de symbolisation au lecteur visé en contrôlant ainsi le langage cartographique dans la visualisation (via les signes graphiques).

La représentation statique limite l'interaction directe avec les données mais a été normalement conçue pour être adaptée aux différents contextes de ses différents utilisateurs. Le dynamisme et l'interactivité offerte par la géovisualisation depuis plusieurs années permettent d'étendre le champ du possible en termes d'interaction, d'exploration et de raisonnement.

Evolution vers une plus grande interactivité

La relation entre l'utilisateur et l'information géographique évolue vers une plus grande interactivité et une plus grande appropriation de l'information. Effectivement, l'interactivité est devenue la norme, dans les outils pour les experts en données géographiques mais aussi dans les applicatifs d'exploitation utilisables sans prérequis de compétences : globes virtuels, portails, etc. Elle permet une grande souplesse dans les choix d'affichage : les choix de représentation ne se font pas uniquement en amont, lors d'une production classique, mais peuvent aussi être effectués en aval, par l'utilisateur, en fonction de son besoin dans un cadre de conception à la demande. Sur le plan théorique on peut considérer que cela résout l'équation qui donne le résultat le plus efficace en termes de représentation : il n'y a pas de solution optimale mais une solution satisfaisante pour l'utilisateur. Il peut créer lui-même la représentation adaptée à son besoin et peut ainsi mieux se l'approprier. La modélisation de Kolacny, évoquée précédemment (figure 2), est alors optimisée car l'utilisateur intervient dans la conception du contenu et l'adapte à son contexte. Cette plus grande interaction offre également aux experts la possibilité d'explorer les données. Ils peuvent :

- appliquer des traitements d'analyse spatiale ;
- considérer l'information à différentes échelles ;
- croiser un grand nombre d'informations ;
- manipuler la sémantique des données ;
- simuler des situations dans l'espace et dans le temps ;
- faire évoluer la représentation ;
- créer des données à valeur ajoutée : aide à la décision, etc.

Cette interaction permet aux utilisateurs de créer de la connaissance à partir des données qui sont à leur disposition. Cette évolution de l'interaction entre l'utilisateur et l'information a bien été prise en compte par l'Agence de renseignement géospatial américaine (*National Geospatial-Intelligence Agency*) lors de la création du portail *Map of the World* avec cette idée, tout à fait

théorique, de l'absence de frontière entre la donnée et l'utilisateur. L'objectif, intéressant à des fins de renseignement, est d'optimiser l'immersion de la personne qui a besoin d'analyser les données.

L'interactivité doit être maîtrisée

Une représentation efficace n'est pas seulement construite en choisissant un à un les symboles les plus explicites mais en construisant un ensemble de symboles cohérents et hiérarchisés, c'est cet ensemble cohérent qui permettra de transmettre un message de la manière la plus efficace possible (Christophe 2011, Buard et Ruas 2009). Ce travail nécessite une maîtrise des variables visuelles qui n'est pas à la portée de l'utilisateur novice. Il faut savoir mettre en cohérence l'ensemble au niveau de la perception globale de l'information puis à des niveaux intermédiaires et plus détaillés sur des zones plus localisées. La construction de cet ensemble n'est pas évidente. Si on veut que l'interaction de l'utilisateur novice avec la donnée soit efficace, ce dernier ne doit avoir accès qu'à un degré limité d'interactivité, on peut aussi lui fournir des fonctionnalités permettant de le guider dans la conception et l'utilisation des représentations (Christophe, 2009). Par exemple, les services de légendes personnalisables proposent des légendes précalculées ou guident l'utilisateur sur les modifications qu'il opère pour conserver l'efficacité de la représentation. Le cube de visualisation de MacEachren (1995) (figure 3) met en exergue les enjeux de visualisation pour les différents types d'utilisateurs et d'utilisations. Une représentation statique suffira pour présenter une information alors que l'interactivité permettra à des spécialistes d'explorer l'information pour créer de la connaissance.

Dans le cadre du renseignement géospatial, pour les applications d'aide à la décision la représentation utilisée peut être statique ou à interactivité limitée. Que ce soit pour une prise de décision au niveau stratégique ou tactique l'information doit être représentée de manière efficace pour faciliter la prise de décision mais l'utilisateur ne doit pas avoir à interagir avec la représentation. L'interactivité est dédiée aux tâches amont afin de créer la connaissance et l'intelligence grâce à l'exploration et la fusion de données.

Problématiques de géovisualisation 2D

La géovisualisation 2D suit la tendance et tend vers une plus grande interactivité qui offre de nombreuses possibilités en termes d'affichage et de conception de représentations adaptées aux différents usages. Dans le domaine du renseignement géospatial, dont la valeur

ajoutée réside dans la considération simultanée d'un grand nombre d'informations de sources diverses, le sujet de la covisualisation de données est majeur pour l'ensemble des applications.

Conception de représentations

Comme nous l'avons expliqué précédemment, l'interactivité de la représentation permet à l'utilisateur d'adapter la représentation à son besoin. Il existe, par exemple, des outils comme le ColorBrewer, qui donnent la possibilité de créer une légende efficace avec des palettes couleurs prédéfinies en fonction du nombre de classes à caractériser et de la nature des informations à afficher : ordonnées, qualitatives ou différenciées. Dhée (2013) montre qu'il est possible d'optimiser les légendes des cartes topographiques de type 1 : 25 000 pour les utilisateurs déficients visuels de la couleur ou daltoniens. On est dans un cas typique d'adaptation de la représentation au contexte de l'utilisateur. On retrouve cette problématique pour les applications de défense et de renseignement où la symbologie cartographique doit être adaptée à une exploitation nocturne : dans un contexte de faible luminosité ou en utilisant des lunettes de vision nocturne.

Covisualisation de données

L'interactivité permet également de combiner des informations issues de plusieurs sources grâce à des techniques de covisualisation :

- Combinaison vecteur/vecteur
- Combinaison orthoimage/vecteur
- Visualisation simultanée par lentille, par balayage (swipe) ou par juxtaposition synchronisée.
- Combinaison par transparence de deux couches indépendantes

Ces techniques offrent de nombreuses possibilités aux utilisateurs qui peuvent alors naviguer entre les différentes informations de manière plus ou moins efficace. Des travaux de recherche en géovisualisation tentent d'améliorer ces techniques de covisualisation. Il existe notamment des travaux qui s'intéressent à la combinaison de données réalistes (imagerie) et de données abstraites (cartes, vecteurs, etc.). Dans le contexte actuel de multiplication des capteurs aériens et spatiaux, l'utilisation de l'orthoimage est intéressante, en particulier pour les applications de défense et de renseignement, car elle permet de bénéficier d'une bonne actualité de la donnée, elle est également riche en termes de contenu. Il est possible de combiner harmonieusement le réalisme de l'orthoimage et l'abstraction des produits cartographiques pour améliorer la perception et la compréhension de l'utilisateur. L'équilibre entre

abstraction et réalisme est important car les deux types de représentation sont complémentaires. La donnée réaliste est riche en contenu et a une bonne actualité, en revanche il est communément admis que, pour analyser des données de manière optimale, un certain niveau d'abstraction est nécessaire : cela permet de présenter une information structurée et hiérarchisée. Le réalisme peut être considéré comme un facteur perturbant car distrayant pour l'utilisateur.

La littérature montre également que l'utilisateur accorde une confiance plus importante à une représentation réaliste. En ce sens, le réalisme pourrait donc être mis en œuvre en tant que variable visuelle pour caractériser la qualité de la donnée (Zanola et al., 2009). Il conviendrait d'étudier quel serait le bon niveau d'abstraction à mettre en œuvre pour obtenir une analyse plus efficace suivant les applications. Ces réflexions, valables pour la 2D et la 3D, divisent encore la communauté scientifique.

Hoarau (2015) a étudié la covisualisation entre carte et orthoimage pour naviguer entre abstraction et réalisme. Les travaux montrent que le continuum classique entre la carte et l'orthographie réalisé en transparence est inefficace car on superpose des données conçues pour être auto-suffisantes. La solution originale proposée décompose la donnée en différentes couches pour créer un continuum pertinent combinant le réalisme de l'orthoimage et certaines couches cartographiques. Cette solution permet de conserver un maximum d'informations tout au long du continuum. Par exemple, la lisibilité du réseau routier est garantie grâce à un alourdi dont la couleur dépend du contexte, ce qui rend la composition lisible et subtile. Ces solutions de covisualisation qui combinent abstraction et réalisme sont particulièrement intéressantes pour les applications de défense et de renseignement pour lesquelles la notion d'actualité peut être critique pour des applications à très court terme au niveau tactique en particulier.

Analyse de l'efficacité d'une représentation

D'autres travaux en géovisualisation utilisent les outils d'analyse d'image issus de l'informatique graphique et les appliquent au domaine de l'information géographique, permettant ainsi d'évaluer l'efficacité d'une représentation. Ainsi, Jégou *et al.* (2012) ont étudié les algorithmes de saillance visuelle qui déterminent « la rapidité avec laquelle une position de l'image observée est le sujet de l'attention visuelle, et de la durée du maintien de cette attention ». Cela offre la possibilité d'analyser et d'optimiser la complexité d'un produit cartographique.

Il a appliqué ceci aux cartes choroplèthes pour étudier les couleurs qui offrent une saillance visuelle optimale, ces travaux permettent d'évaluer finement les impacts du choix des couleurs sur la perception humaine.

On constate au travers de ces exemples que les possibilités offertes par la technologie et les travaux de recherche en géovisualisation peuvent être exploitées pour créer les représentations les plus efficaces possibles. Cette évolution est indispensable pour répondre aux besoins d'exploration d'un volume croissant de données.

Problématiques de géovisualisation 3D

La géovisualisation 3D est aujourd'hui fortement plébiscitée à des fins de visualisation. Ce type de représentation est un outil extrêmement intéressant pour plusieurs applications de défense et de renseignement que nous détaillons ici, les travaux de recherche sur le sujet nous donnent aussi un point de vue intéressant sur son efficacité cognitive.

Applications 3D dans le domaine du renseignement géospatial

En préparation de mission, la représentation 3D remplit avec succès le rôle de « bac à sable » qui permet de familiariser les opérationnels avec le terrain et de préparer des scénarios tactiques. Effectivement, le réalisme de la 3D et les techniques de visualisation dynamiques offrent une véritable immersion de l'utilisateur dans la zone d'opération ce qui le prépare au mieux à sa projection sur le terrain. Cela présente un grand intérêt pour préparer des missions dans des environnements urbains ou montagneux. Sur une zone à très grande échelle, quelques bâtiments par exemple, la 3D permet de modéliser précisément les ouvertures, les dépôts et renforcements pouvant servir de zones de tir embusqués, d'observations ou de caches possibles. Ce type de représentation complète efficacement les informations en 2D qui apportent, des informations sémantiques plus riches.

Pour les calculs d'intervisibilité, l'interactivité associée à la représentation 3D permet de visualiser les parties vues et cachées à la volée. Sur ce cas précis, il est intéressant de constater que le résultat sera plutôt exploité en 2D pour évaluer avec précision les positions à privilégier ou à éviter. De même, les résultats de certains outils d'aide à la décision qui utilisent les données 3D dans leur calcul (zones de poser d'aéronefs, etc.) seront plutôt exploités en 2D pour être analysés avec pertinence.

La représentation dynamique 3D est aussi très efficace pour la simulation : simulation de scénarios tactiques, de pilotage d'aéronefs, mais aussi simulation de dissémination ou de propagation dans le cas de risques d'inondations ou de pollutions de type NRBC (Nucléaires, Radiologiques, Biologiques, Chimiques).

Concernant l'extraction d'information à partir d'images haute résolution dans le domaine du renseignement, la 3D est cruciale pour cette analyse de l'environnement géographique. En effet, la résolution de plus en plus fine des images disponibles permet de détecter de nombreuses structures anthropiques, qui induisent une rupture dans l'altimétrie par rapport au sol. Cette rupture dans l'altimétrie permet de discriminer les éléments de manière plus fiable que la simple discrimination radiométrique : le contraste radiométrique sur des objets anthropiques de petite taille est parfois insuffisant pour déterminer correctement leur nature. Cet aspect milite en faveur d'une acquisition en stéréoscopie ou de l'utilisation d'un modèle numérique d'élévation qui permette de discriminer les objets anthropiques et les éventuels mouvements du terrain.

Au-delà de ces exemples représentatifs, il existe d'autres applications pour lesquelles la géovisualisation 3D est utilisée : analyse de données, guidage d'aéronefs, navigation, aide à la décision, etc.

Etudes sur la géovisualisation 3D

Les travaux sur la géovisualisation 3D identifient certaines spécificités de ce type de représentation et proposent d'optimiser son utilisation pour différentes applications.

Abstraction et réalisme

La géovisualisation 3D s'attache souvent à modéliser les environnements avec le plus de réalisme possible. Suivant les usages, il conviendra de mettre en œuvre le niveau d'abstraction adéquat pour améliorer l'efficacité de la représentation car comme nous l'avons vu en 3.2, les niveaux d'abstraction influent sur la perception. Par exemple, le photoréalisme, consistant à plaquer de l'imagerie sur les façades ou les reliefs de la représentation 3D, est plus ou moins efficace suivant l'usage. Le photoréalisme est très intéressant en termes de communication (aide à la décision) ou de simulation car il offre une véritable immersion de l'utilisateur dans la donnée présentée, très proche de la réalité (Kostelnick et McDermott, 2011). Cela crée chez l'utilisateur une émotion particulière liée au fait qu'il se projette dans une modélisation de la scène proche de notre réalité en trois dimensions. Un décideur

sera ainsi plus sensible à une simulation d'inondation réalisée dans un environnement 3D photoréaliste qui lui permettra véritablement d'évaluer les conséquences de l'événement. Néanmoins, ce photoréalisme est moins adapté pour l'analyse de données car il peut être considéré comme distrayant pour l'utilisateur (Hegarty *et al.*, 2008). De plus, l'information présentée n'est pas hiérarchisée et les contours de bâtiments, plus difficiles à distinguer, paraissent plus flous (Semmo *et al.*, 2010). Par conséquent, le niveau d'abstraction doit être adapté en fonction de l'usage, il peut même être envisagé de combiner les différents niveaux d'abstraction pour tirer profit des bénéfices de chacun. Ainsi, un certain nombre de travaux étudient la possibilité de naviguer entre plusieurs niveaux d'abstraction (phtoréalisme, niveaux de détails) au sein d'une même représentation 3D. Par exemple, les travaux de (Semmo & Döllner, 2014) proposent d'utiliser les variables visuelles, comme le flou, dans la représentation, ou proposent une interface qui adapte le contenu (réalisme, niveau de détail) de la donnée en fonction de l'endroit où l'utilisateur porte son attention. Comme mentionné dans le paragraphe 3.2, le photoréalisme peut aussi être utilisé comme variable visuelle influant sur la perception de la qualité de la donnée (Zanola *et al.*, 2009).

Perception et cognition

En termes de perception vis-à-vis d'une représentation 3D, on note que les éléments qui se trouvent dans la profondeur sont moins bien appréhendés car l'échelle est variable et la perspective rend les distances plus difficiles à évaluer. De plus, certains objets peuvent être masqués suivant le point de vue. Ainsi Ware et Plumlee (2005) constatent que les structures complexes sont plus facilement analysables lorsque les composantes qui les portent sont perpendiculaires à l'axe de vue. La représentation 3D permet d'analyser finement tout ce qui se trouve sur la composante altimétrique (Pegg, 2014). Pour étudier plus globalement l'ensemble des objets d'une zone, la représentation 2D pourra venir compléter efficacement le dispositif d'analyse. En termes de mémorisation de l'information, Ware et Plumlee (2005) annoncent que le processus de mémorisation de la géographie d'une zone sera plus rapide en consultant un plan en 2D qu'en naviguant en immersion dans un environnement dynamique 3D (réel ou virtuel). Cet aspect milite en faveur d'une utilisation combinée des données 2D et 3D pour faciliter à la fois l'immersion et la mémorisation de la zone. Ces aspects sont particulièrement importants pour les applications de préparation de mission.

Les outils de navigation jouent également un rôle important, la perception de l'utilisateur sera optimale

s'il peut naviguer et zoomer de manière douce pour conserver ses repères d'orientation, une projection brusque sur un lieu va le désorienter et l'obliger à passer du temps pour retrouver sa position relative par rapport au reste de l'environnement. Une interface combinant 2D et 3D apparaît nécessaire pour bénéficier de tous les avantages de la navigation 3D sans perdre la notion d'orientation.

L'ensemble de ces études nous permet de constater que l'usage de la 3D peut être optimisé en fonction applications en termes de renseignement géospatial, il paraît alors intéressant de continuer à analyser son efficacité pour faire en sorte que le besoin des utilisateurs soit le moteur de l'innovation technologique.

Vers une optimisation des outils de géovisualisation

On voit que les technologies de géovisualisation actuelles sont très avancées, la technologie 3D permet de pousser l'interaction à un autre niveau. Néanmoins, on peut considérer que ces avancées sont plutôt focalisées sur la technologie elle-même que sur la réponse aux besoins des utilisateurs et sur l'optimisation de la compréhension des données. Or, le traitement de la masse croissante d'informations nécessite de développer des outils de représentation qui permettent d'interagir efficacement, de visualiser un grand nombre de données différentes et de rendre saillantes celles qui sont les plus significatives. Il faut donc considérer les briques technologiques disponibles et analyser en profondeur comment les valoriser de manière pertinente. Le défi est de taille et les enjeux sont importants. Les travaux de recherche étudiés ces sujets et des évolutions intéressantes sont envisagées. Avec les avancées considérables des technologies de

représentation cartographiques, les problèmes qui se posent aujourd'hui dans le domaine géospatial trouvent aussi des solutions dans d'autres domaines :

- dans le domaine des jeux-vidéos ou de la simulation pour l'exploitation des données 3D ;
- dans le domaine de l'IHM (domaine de recherche spécifique combinant informatique, design et perception humaine) pour l'optimisation de l'interaction entre l'utilisateur et la technologie ;
- dans le domaine des sciences cognitives pour l'analyse de la perception de la représentation.

Une approche pluridisciplinaire s'impose car c'est en combinant de manière originale l'ensemble de ces disciplines que des solutions de visualisations optimales pourront être développées.

Conclusion

La géovisualisation est une des briques essentielles du processus d'analyse du renseignement géospatial car elle participe à la création de connaissance : en croisant des éléments connus issus de sources diverses elle met en évidence des éléments inconnus participant ainsi de manière active à une meilleure évaluation de la situation opérationnelle. Les résultats des travaux de recherche en géovisualisation 2D et 3D proposent des moyens pour améliorer l'interaction entre l'information et l'utilisateur pour la rendre plus efficace en terme de perception et de cognition. Ces travaux montrent notamment que la complémentarité entre différents types de représentations permet de s'adapter aux usages avec une conception et une utilisation plus efficaces. L'évolution des technologies, une approche pluridisciplinaire de la recherche et la prise en compte des besoins des utilisateurs promettent encore davantage d'optimisations à venir.

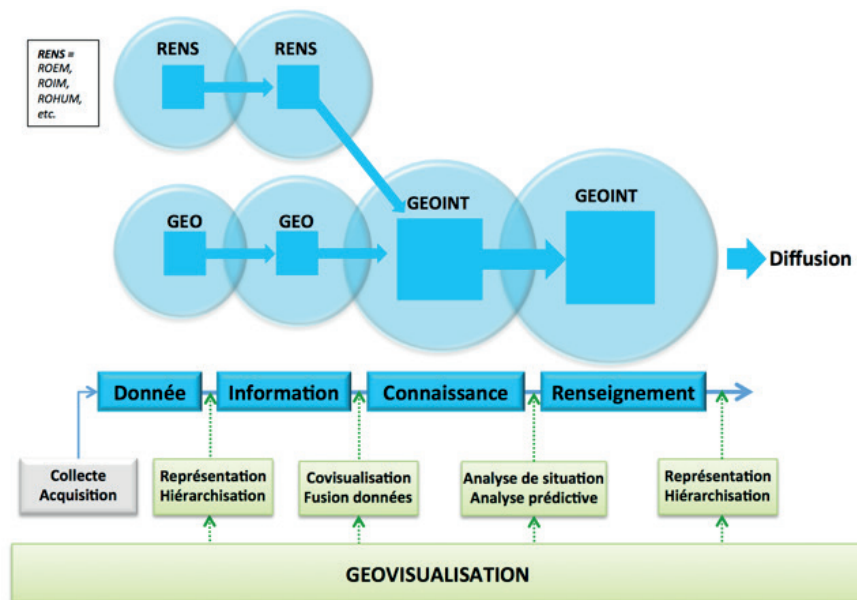


Figure 1 : Processus de réalisation du renseignement géospatial

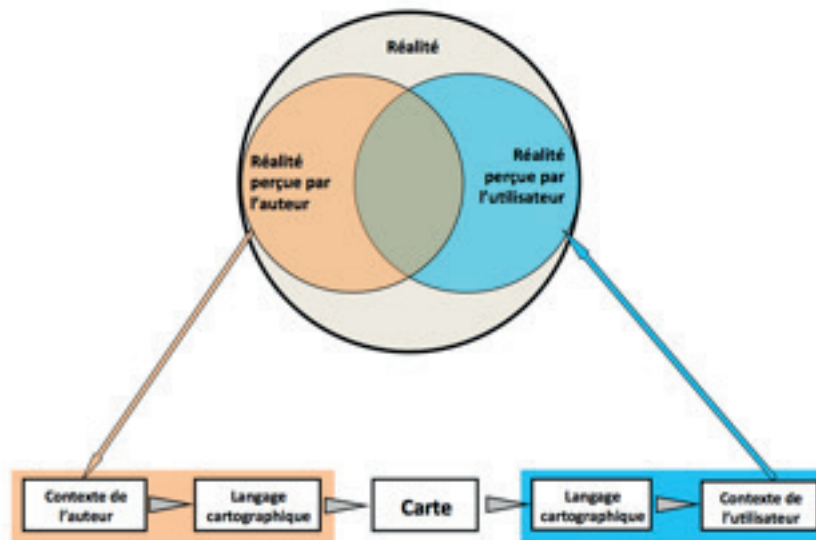


Figure 2 : Modélisation de la compréhension cartographique, d'après Kolacny, (1969)

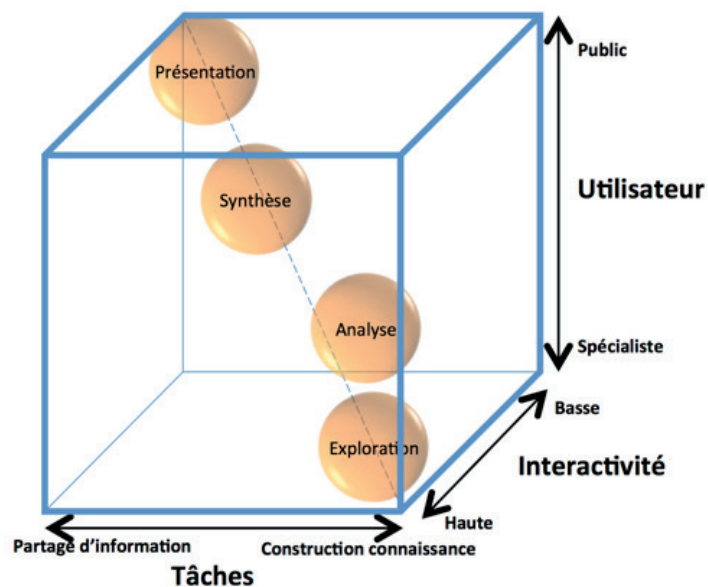


Figure 3 : Le cube de visualisation de MacEachren, (1995)

Bibliographie

- Bertin J.**, 1967, *Sémiologie graphique*. Paris, Mouton, Gauthier-Villars.
- Bleisch S.**, 2012, « 3D Geovisualization – Definition and structures for the assessment of usefulness », *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume I-2, 2012, p. 129-134
- Brasebin M., Buard E., Christophe S., Pelloie F.**, 2015, « A knowledge base to classify and mix 3D rendering styles », *27th International Cartographic Conference, Rio de Janeiro, Brazil*.
- Buard E., Ruas A.**, 2009, « Processes for improving the colours of topographic maps in the context of map-on-demand », *24th International Cartographic Conference, Santiago, Chili*.
- Christophe S.**, 2011, « Creative colours specification based on knowledge », *The Cartographic Journal*, vol. 48, n. 2, pp. 138-145.
- Christophe S.**, 2009, « Aide à la conception de légendes personnalisées et originales : Proposition d'une méthode coopérative pour le choix des couleurs ». Thèse de doctorat, Université Paris-Est.
- Dhée F.**, 2013, « Cartographie pour les déficients visuels de la couleur. Propositions d'amélioration des cartes pour les daltoniens », Thèse de doctorat, Université Paris 1.
- Jégou L., Deblonde J-P.**, 2012, « Vers une visualisation de la complexité de l'image cartographique », *Cybergeo : European Journal of Geography, Cartographie, Imagerie, SIG*, document 600.
- Häberling C.**, 2008, « Cartographic Design Principles for 3D Maps, A Contribution to Cartographic Theory. » *Proceedings of ICACongress Mapping Approaches into a Changing World, ACoruna, Spain, Jul 9–16*
- Hegarty M., Kriz S.**, 2008, « Effect of knowledge and spatial ability on learning from animation », dans Lowe R. et Schnotz W. (dir.) *Learning with Animation: Research Implications for Design*. 1st Ed., New York, Cambridge University Press.
- Hoarau C.**, 2015, « Représentations cartographiques intermédiaires. Comment covisualiser une carte et une orthophotographie pour naviguer entre abstraction et réalisme ? », Thèse de doctorat, Université Paris-Est.
- Kolácny, A.**, 1969, « Cartographic information: a fundamental concept and term in modern cartography », *The Cartographic Journal*, vol. 6, pp47-49.
- Kostelnick J., McDermott D.**, 2011, « An evaluation of abstraction and realism on the perception of hazards and risks », *25th International Cartographic Conference*.
- MacEachren A.M., Kraak M.J.**, 2001, « Research challenges in Geovisualization », *Cartography and Geographic Information Science*, Vol.28, No.1
- MacEachren, A. M.**, 1995, *How Maps Work: Representation, Visualization, and Design*. New York, The Guilford Press, 2nd édition.
- Metz C.**, 1971, « Réflexion sur la sémiologie graphique de Jacques Bertin » *Annales. Économies, Sociétés, Civilisations*, Vol. 26(3), p. 741-767.
- Morrison J.**, 1974, « Changing philosophical-technical aspects of thematic cartography ». *American Cartographer* 1, p. 5-14.
- Pegg D.**, 2014, « Design Issues with 3D Maps and the Need for 3D Cartographic Design Principles. » <http://lazarus.elte.hu/cet/academic/pegg.pdf>
- Neubauer S., Zipf A.**, 2007, « Suggestions for Extending the OGC Styled Layer Descriptor (SLD) Specification into 3D – Towards Visualization Rules for 3D City Models », *Urban Data Management Symposium, UDMS 2007, Stuttgart, Germany*.
- Semmo A., Kyprianidis J., Döllner J.**, 2010, « Automated image-based abstraction of aerial images », *Geospatial Thinking*, p. 359-378.
- Semmo A., Döllner J.**, 2014, « Image Filtering for Interactive Level-of-Abstraction Visualization of 3D Scenes », *Proceedings International Symposium on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization, and Imaging (CAE)*, 2014
- Ware C., Plumlee M.D.**, 2005, «3D Geovisualization and the Structure of Visual Space», *Exploring geovisualisation*, 154, p. 567-576.

Zanola S., Fabrikant S. I., Cöltekin A., 2009, « The effect of realism on the confidence in spatial data quality in stereoscopic 3D displays », *24th International Cartographic Conference, Santiago, Chile.*