
Visualisation homogène du littoral à partir de données géographiques hétérogènes spatio-temporelles

Antoine Masse¹, Sidonie Christophe¹

1. Institut National de l'Information Géographique et Forestière - Laboratoire Cogit, Université Paris-Est
73 avenue de Paris, 94165 Saint-Mandé cedex, France
antoine.masse@ign.fr, sidonie.christophe@ign.fr

RESUME. La région littorale est une zone à enjeux multiples qui favorisent la production de nouvelles données permettant l'amélioration de sa caractérisation, notamment grâce aux relevés LiDAR (Light Detection and Ranging) pour la génération de Modèle Numérique de Terrain (MNT) à haute résolution. Les verrous actuels se situent sur l'intégration et le rendu de ces données, non seulement pour des questions d'hétérogénéité des données images, vecteurs et LiDAR, mais aussi car les systèmes de visualisations existants ne permettent pas un rendu continu terre/mer en fonction des marées. Nous proposons ainsi d'améliorer la visualisation de la zone littorale par l'intégration homogène de ces nouvelles données afin de représenter de façon plus réaliste les dynamiques de la hauteur d'eau : (1) avec l'utilisation de données plus précises comme le LiDAR, qui permettent de visualiser plus précisément les phénomènes et éléments du littoral et ainsi accentuer le réalisme perçu et (2) en manipulant le réalisme via le photoréalisme des images et les capacités de rendus expressifs dont nous disposons. Nous proposons ensuite plusieurs méthodes de rendu permettant la visualisation de ces données autour de deux cas d'applications de visualisation hybride : LiDAR/carte et LiDAR/ortho-image.

ABSTRACT. The coastal area is a multi-issue area that promote the production of new data to improve its characterization, including LiDAR surveys (Light Detection and Ranging) for the generation of Digital Terrain Model (DTM) with high spatial resolution. Challenges are located on the integration and the rendering of these data, because of their heterogeneity (images and vectors), but also because current visualization systems do not allow a continuous rendering of land and sea with tide consideration. We propose to improve the visualization of the littoral area by representing more realistically water level dynamics: (1) with the use of more precise data such as LiDAR, to visualize more precisely coastal elements and thus enhance the perceived realism and (2) by manipulating the realism with image photorealism and expressive rendering technics. Finally, we propose several rendering methods to visualize these data on two applications of hybrid visualization: LiDAR/map and Lidar/ortho-image.

MOTS-CLES : visualisation, réalisme, marée, lidar, stylisation

KEYWORDS: visualization, realism, tides, lidar, stylization

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

1. Introduction

Le littoral est défini comme étant la zone comprise entre une étendue maritime et la terre ferme, au milieu de laquelle se situe le trait de côte définissant la séparation officielle de ces deux entités. Le trait de côte est défini par la laisse des plus hautes mers astronomiques (coefficient 120, conditions météorologiques normales). En fonction des usages et des régions, cette définition peut varier sur la largeur de la zone, allant de quelques centaines de mètres à plusieurs kilomètres. Le littoral est ainsi composé majoritairement de zones humides, dont la zone d'estran qui est comprise entre la ligne astronomique des plus basses et des plus hautes mers. La gestion optimale du littoral est un objectif essentiel pour sa protection (évolution du trait de côte sous l'effet de l'érosion, protection du domaine côtier notamment des parcs naturels marins, protection de la faune et de la flore), la prévention des risques (inondation, pollution, catastrophe naturelle), l'aménagement (portuaire, touristique, industriel), l'exploitation des ressources vivantes et minérales, la recherche et les études scientifiques mais également les besoins militaires.

La zone littorale est marquée par le dynamisme des marées, i.e. du va-et-vient continu de l'eau sur la terre, d'où la complexité de l'observer et de la visualiser. Les techniques d'observations sous-marines et terrestres étant différentes (capteurs, traitements, etc.), les données produites sont hétérogènes en résolution, précision, nature, référence, etc. Concernant la visualisation du littoral, les légendes choisies pour la cartographie sont souvent différentes sur terre et sur mer car réalisées par des producteurs différents et pour des usages différents. Les cartes maritimes répondent généralement à des fins de navigation avec un objectif de représentation de la profondeur d'eau alors que les cartes terrestres répondent généralement à une logique de description topographique orientée randonnée, grand public, etc. Ainsi, la représentation du littoral est rendue d'autant plus difficile par les variétés des données, des usages et des producteurs. Deux éléments spatio-temporels sont utilisables pour les représentations de la mer dans une visualisation de la zone côtière : l'interface terre/mer et la profondeur d'eau. L'**interface terre/mer** est souvent représentée de manière statique dans les visualisations existantes du littoral, représentant un niveau maximal théorique du niveau de la mer appelé trait de côte. Ce manque d'information dynamique (spatio-temporelle) s'applique également aux zones immergées/émergées telles que les bancs de sables ou les rochers, éléments importants en navigation maritime et qui n'apparaissent pas ou peu dans les visualisations existantes. La **profondeur de l'eau** est représentée dans les cartes à destination de la navigation maritime et symbolise la profondeur de l'eau de manière statique, c'est-à-dire par rapport à une référence fixe, en général le zéro du référentiel national. Il faut ensuite ajouter les informations de marées afin d'obtenir la hauteur d'eau réellement présente au temps choisi. Or, le phénomène de marée est un phénomène connu, prévisible et dont la hauteur d'eau estimée est précise, ce qui permet son utilisation dans des cartes à grande échelle. La précision des Modèles Numériques de Terrain (MNT) combinée à l'estimation précise de la hauteur d'eau permet ainsi d'obtenir des données de profondeurs d'eau à hautes résolutions spatiales et temporelles.

Nous nous intéressons ici à deux enjeux. Premièrement, la représentation de la mer et de la terre nécessite des données fines, notamment pour la représentation de l'interface terre/mer. Désormais, avec des MNT plus précis (50cm en mer, 20cm sur terre), à haute résolution (5m en mer, 1m sur terre) et continu entre terre et mer (bathymétrique et aéroporté), il est possible d'obtenir précisément l'information de profondeur d'eau et de séparation terre/mer dans un système de visualisation. Un deuxième enjeu consiste à utiliser tous les outils et techniques de paramétrisation du rendu permettant d'introduire plus de réalisme dans la représentation du littoral (par exemple, la représentation des fonds marins dans une ortho-image). Notre problématique est de proposer et tester une méthodologie permettant à la fois de sélectionner, d'enrichir et de visualiser des données géographiques mais également de pouvoir paramétrer le rendu de ces données hétérogènes et ainsi accentuer le réalisme de la visualisation.

Nous verrons dans un premier temps l'existant en matière de visualisation de la zone littorale. Ensuite, afin de répondre à notre problématique de visualisation de la zone côtière, nous proposerons une méthodologie générale permettant l'intégration de données hétérogènes, leur enrichissement et leur rendu. Enfin, nous présenterons et discuterons deux cas d'applications de visualisations hybrides selon les données utilisées : LiDAR¹/carte et LiDAR/ortho-image.

2. Etat de l'art

Nous détaillons dans un premier temps les différents types de visualisation existants, notamment pour la zone littorale : statique, statique à partir de phénomènes dynamiques, interactif et dynamique. Nous présentons ensuite les travaux qui se sont focalisés sur l'amélioration du niveau de réalisme passant par la précision des phénomènes et objets représentés. Nous explicitons enfin l'objectif de cet article et notamment les questions qu'il pose pour la représentation de la profondeur d'eau et de l'interface terre/mer en zone littorale, deux éléments que nous considérons comme enrichissant et apportant plus de réalisme à la visualisation.

2.1. Vers une visualisation des phénomènes et dynamiques spatio-temporelles du littoral

La visualisation est définie comme la création et l'utilisation de représentations visuelles pour aider la pensée, la compréhension et la diffusion (Longley, 2005 ; MacEachren et Kraak, 2001). Les visualisations de la zone littorale sont nombreuses et très variées. Nous pouvons citer les travaux concernant l'évolution du niveau des mers qui représentent une grande part des visualisations (Nicholls et Cazenave, 2010 ; Yang *et al.*, 2014). Nous pouvons également citer les applications liées à la prévention des risques liés aux tsunamis et aux inondations (Allen *et al.*, 2010 ; Leone *et al.*, 2014), à l'aménagement et au tourisme (Sardá *et al.*, 2005 ; Yang *et al.*,

¹ Light Detection and Ranging

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

2012b), à la modélisation et visualisation des courants et marées (Mengguo *et al.*, 2000) ou encore au suivi des fonds marins (Tateosian *et al.*, 2014). Nous proposons de séparer ces visualisations en quatre catégories : les visualisations statiques, les visualisations statiques de phénomènes dynamiques, les visualisations interactives de phénomènes dynamiques et les visualisations dynamiques.

La **première** catégorie de visualisation comprend les visualisations dites statiques, dont les éléments représentés sont fixés et ne représentant pas un phénomène dynamique. Nous citerons deux exemples de ce type de visualisation statique : la juxtaposition au niveau du trait de côte de deux produits cartographiques (cf Figure 1) et la visualisation de la profondeur d'eau (fixée) à partir de relevés LiDAR bathymétriques (cf Figure 2).

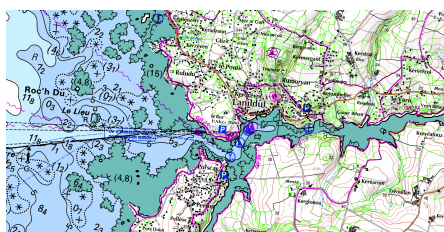


Figure 1 : Exemple de visualisation du littoral autour de la commune de Lanildut, Finistère, France (Source ScanLittoral®)

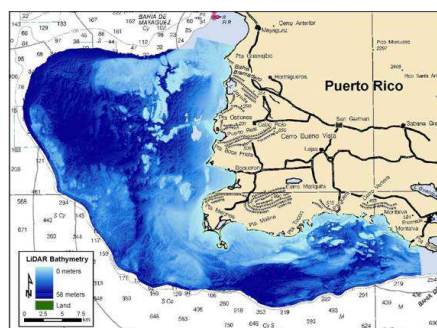


Figure 2 : Visualisation de la profondeur de l'eau à partir d'un MNT (données Lidar bathymétriques, Puerto Rico, source NOAA²)

La **seconde** catégorie regroupe une ou une série de visualisations statiques produites à partir d'au moins un ou plusieurs éléments dynamiques, dans le temps ou dans l'espace. Nous prenons l'exemple ici (Yang *et al.*, 2014) de la représentation de la montée des eaux et de son impact sur la terre à plusieurs états de marée (cf Figure 3). La **troisième** catégorie regroupe les visualisations interactives, permettant à l'utilisateur de faire varier « en temps réel » les caractéristiques de la visualisation : en général, ces visualisations de la zone côtière permettent de faire varier l'élévation de l'eau. La Figure 4 illustre la visualisation de l'élévation du lac Erie, USA (source NOAA³). Dans cet exemple, l'utilisateur peut faire varier le niveau du lac et ainsi observer l'impact sur la zone côtière. Même si ici les reliefs du fond marin apparaissent clairement, la représentation par courbes hypsométriques diminue le réalisme perçu du fait de la discontinuité du rendu (cf Figure 4).

² National Oceanic and Atmospheric Administration

³ <http://coast.noaa.gov/llv/>

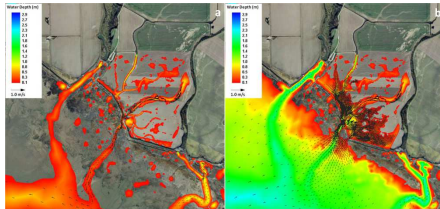


Figure 3 : Visualisation de la profondeur d'eau à différents états : (a) marée montante et (b) marée haute (source Yang et al. 2014)

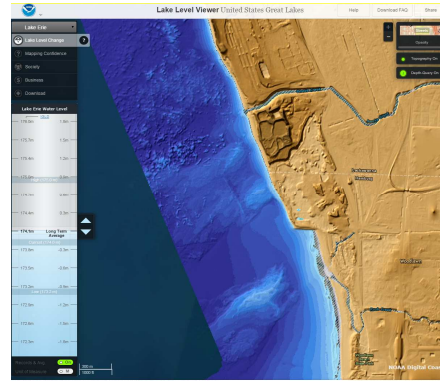


Figure 4 : Exemple de visualisation interactive d'élévation du lac Erie près de Buffalo, NY, USA (Source NOAA)

La **quatrième** catégorie regroupe les visualisations dynamiques dont les caractéristiques d'un ou plusieurs éléments de la visualisation sont animés (Andrienko *et al.*, 2008 ; Bertin, 1967 ; Keim *et al.*, 2008). Cette dernière catégorie est certainement celle qui fournit les visualisations les plus riches car disposant d'animations, donc de leviers supplémentaires pour la transmission d'informations. Cependant, ces animations disposent également de limites notamment en termes d'efficacité de transmission de l'information (Rensink *et al.*, 1997). Dans un premier temps, nous positionnons notre problématique dans la seconde catégorie, l'intégration vers la troisième et quatrième catégorie dépendra de la volonté des utilisateurs de rendre la visualisation interactive et/ou dynamique.

2.2. Vers plus de réalisme pour la visualisation du littoral : intégration de données géographiques hétérogènes et paramétrisation du rendu

Nous définissons le réalisme comme la crédibilité perçue par l'utilisateur depuis la visualisation en référence à sa connaissance et sa perception du monde. Le rendu réaliste vise à créer une image qui soit la plus fidèle possible à la scène représentée, qu'il soit photo-réaliste ou non (Haller, 2004). Par exemple, dans le cas d'un rendu photo-réaliste, la technique consiste à recréer une image qui soit la plus proche possible d'une photo prise de la scène représentée selon un point de vue donné (Bouatouch et Bouville, 2013). Dachsbacher *et al.* (2006) utilisent des données géographiques pour recréer une réalité artificielle photo-réaliste à l'aide d'une orthophotographie synthétique. Dans le cas d'un rendu non photo-réaliste, l'une des sources d'inspiration du réalisme cartographique passe par l'utilisation de données d'observations du monde réel (Patterson, 2002). Les différents aspects du réalisme liés à la cartographie et la visualisation sont le niveau de détail de l'information représentée, le réalisme de la symbolisation adoptée, la mise en valeur du relief, l'immersion et l'interactivité de la représentation, etc. (MacEachren et Kraak, 2001). L'amélioration de la visualisation et de son réalisme passe également par l'introduction de textures expressives. La texturisation de la mer est un problème complexe de par la nature extrêmement variable de l'eau (marée, météo, etc.). Pour

la zone littorale, l'utilisation des textures se limite aux objets dont les variations spatio-temporelles sont faibles, comme par exemple les rochers (Loi *et al.*, 2013), la végétation (Hurtut *et al.*, 2009) ou les dynamiques des courants marins (Semmo *et al.*, 2013 ; Yu *et al.*, 2011).

La visualisation peut conserver un niveau d'intégration homogène des données, offrant un meilleur compromis de rendu entre réalisme et abstraction (Hoarau *et al.*, 2013). Brandt (2005) montre, entre autres, comment le réalisme d'une visualisation permet d'améliorer à la fois les résultats des analyses mais également la communication de ces résultats. Patterson (2002) définit plusieurs règles permettant d'apporter du réalisme à la visualisation. Ces règles portent sur le choix des données, l'utilisation des textures et la paramétrisation du rendu par le style. La première étape pour représenter de manière précise la mer consiste à disposer d'un MNT à haute résolution qui servira ensuite de support aux éléments cartographiques ou informations de marées. Plusieurs données sont couramment utilisées pour la production de MNT : images aériennes et satellitaires, données InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar), données LiDAR et relevés topographiques (Hu, 2004). Parmi ces données, le LiDAR est rapidement devenu la référence pour l'obtention de MNT à haute résolution et est couramment utilisé sur la zone littorale (Fogleman, 2009 ; Hardin *et al.*, 2014 ; Poulter et Halpin, 2008 ; Smeckaert *et al.*, 2013 ; White et Wang, 2003 ; Yang *et al.*, 2012a). Allen *et al.* (2010) introduisent des stratégies de géovisualisation pour la gestion des risques d'inondation et concluent sur la nécessité d'avoir des MNT à haute résolution sur la zone côtière pour pouvoir transmettre correctement les informations liées aux risques. L'apport du LiDAR pour la visualisation a également été démontré dans plusieurs domaines tels que l'urbain pour la modélisation de bâtiments (Forlani *et al.*, 2003), le forestier avec la modélisation de la canopée (Fujisaki, 2005) ou encore le littoral (Guilford et Palmer, 2008). Le LiDAR est également utilisé pour les relevés bathymétriques et permet une meilleure représentation des fonds marins (Depraetere et Dahl, 2007). La combinaison de données LiDAR topographique sur terre et de données LiDAR bathymétrique en mer apparaît donc comme une solution intéressante pour la génération d'un MNT sur la zone littorale car très précise (Louvar et Grateau, 2005 ; Pastol *et al.*, 2007).

Le style cartographique est défini comme étant la manière de rendre l'information géographique, en particulier en fonction des différentes utilisations du contenu et de l'apparence (Kent, 2009). La paramétrisation du rendu permet de transmettre les informations essentielles à l'aide de caractéristiques visuelles et de mécanismes cognitifs (Ory *et al.*, 2013). La paramétrisation du rendu est possible grâce aux normes OpenGIS® de l'Open-Geospatial Consortium (OGC) : la norme Styled Layer Descriptor (SLD) (Lupp, 2007) et la norme Symbol Encoding (SE) (Müller, 2006). L'utilisateur peut également être aidé dans le choix des couleurs et du style à l'aide d'outils spécifiques : par exemple, ColorBrewer (Harrower et Brewer, 2003) et ColorLegend (Christophe, 2011). Concernant la représentation de la mer en zone littorale, il est important que sa stylisation soit cohérente avec la stylisation de la terre (Patterson, 2014). Suivant les échelles de visualisation, deux types de stylisation sont couramment utilisés. A petite échelle, un dégradé de bleus

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

est utilisé, la couleur s'assombrissant vers les grandes profondeurs (cf Figure 2 et Figure 4). A grande échelle, et notamment pour la navigation maritime, un dégradé de bleu inversé est préféré dans la littérature i.e. s'éclaircissant vers les zones profondes (cf Figure 1). Cette paramétrisation permet la perception des fonds marins à faibles profondeurs, comme dans la réalité. Nous disposons donc à la fois de données précises, continues terre/mer et d'une paramétrisation du rendu afin de répondre à notre problématique de visualisation du littoral.

2.3. Problématique

Nous proposons ainsi d'améliorer la visualisation de la zone littorale par l'ajout de nouvelles données hétérogènes ayant montré un apport significatif en précision et en qualité de transmission des informations : un MNT obtenu par relevés LiDAR aéroporté et bathymétrique et les informations de marée. Afin d'ajouter du réalisme à la visualisation du littoral, nous proposons d'enrichir ces nouvelles données afin de représenter des phénomènes réels tels que la profondeur d'eau et la séparation terre/mer, toutes les deux dynamiques et fonction des états de la marée. La méthode proposée devra également pouvoir s'adapter au type de rendu souhaité, c'est-à-dire fournir les outils de stylisation permettant un rendu photo-réaliste ou non.

3. Approche méthodologique : représentation de la profondeur de l'eau en fonction de l'information spatio-temporelle sur les marées

Afin de répondre à notre problématique qui est d'obtenir une visualisation réaliste de la zone littorale, nous proposons une méthodologie générale de visualisation de données permettant l'ajout de données et de techniques spécifiques à la zone littorale pour l'obtention de l'estimation de la profondeur d'eau et la délimitation terre/mer. La Figure 5 présente ces quatre grandes étapes. **Etape 1 : Acquisition des données.** Dans un premier temps, les données sont acquises (données raster ou vecteur, observations, prédictions) puis prétraitées (corrections géométriques, interpolation, etc.). En règle générale, ces opérations sont effectuées par les agences nationales productrices d'informations géographiques. **Etape 2 : Sélection des données.** A partir de ces bases de données, nous sélectionnons les données que nous voulons visualiser. En particulier, pour estimer et représenter la profondeur de l'eau et la séparation terre/mer, nous avons besoin de deux informations principales : un modèle numérique de terrain (MNT) pour l'information d'élévation du terrain (sous-marin ou non) et de l'information de hauteur d'eau fournie par l'observation des marées. Dans le cas de la visualisation du littoral, nous avons besoin d'un MNT de grande précision obtenu à partir de données Lidar aéroporté et bathymétrique. La hauteur d'eau est obtenue à partir des informations de marée observées ou prédites puis interpolées pour chaque point d'eau du globe à un temps t (jour/heure/minute). **Etape 3 : Enrichissement des données.** Le but de cette étape est d'enrichir les données existantes pour une représentation simple mais réaliste de la mer en utilisant la profondeur d'eau et l'interface terre/mer. La profondeur d'eau s'obtient par différence entre l'élévation de l'eau et l'élévation du terrain. Le calcul de l'interface terre/mer s'obtient à partir des deux informations présentées à l'étape 2 en effectuant l'intersection de la surface du terrain et de la surface d'eau. Le résultat obtenu est ainsi une ligne séparant la

terre et la mer à un temps fixé. La précision de ces deux informations dépend donc à la fois de la précision de l'élévation du terrain et de l'estimation de hauteur d'eau.

Etape 4 : Rendu. Afin de visualiser les données, nous utilisons un moteur de rendu paramétré par le style. Cette paramétrisation se fait à l'aide de la norme SLD introduite précédemment.

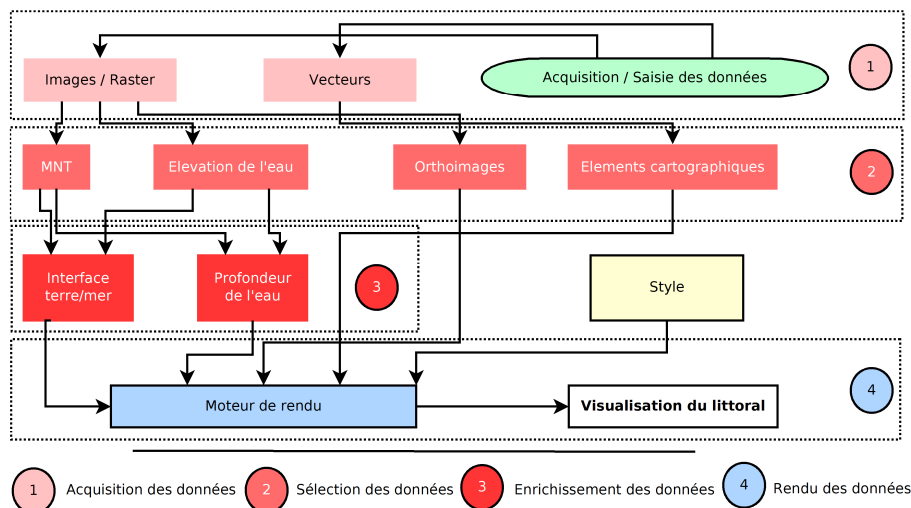


Figure 5 : Méthodologie générale pour la visualisation du littoral

4. Applications

Afin d'illustrer et de tester notre méthode, nous allons présenter plusieurs résultats de visualisation du littoral en fonction des différents états/niveaux de marée. Les deux applications concernent la visualisation hybride de données LiDAR stylisées (à travers l'utilisation d'un MNT), respectivement avec une carte et une ortho-image. Nous utilisons une palette de couleurs dites conventionnelles pour la première application, basée sur les standards cartographiques, et naturelles pour la seconde, basées sur l'ortho-image ; l'objectif étant ici d'observer l'effet de l'ajout de nos nouvelles données stylisées sur le niveau d'homogénéité et de réalisme des visualisations.

4.1. Données géographiques et logiciel utilisé

Nous nous intéressons à la commune de Lanildut dans le Finistère, France. Cette commune du littoral breton est choisie pour sa diversité des structures spatiales à représenter : estuaire, littoral préservé, rochers immergés/émergés, voies navigables, marnage important (~8 mètres). Nous disposons des données suivantes : un MNT issu de données LiDAR bathymétrique et aéroporté (Litto3D®) ; de données de marée (Refmar®) ; de données topographiques : occupation du sol, zones urbaines, hydrographie, réseaux routiers, informations touristiques, etc. ; des légendes pour la cartographie (IGN et SHOM) et des ortho images 50cm (BD ORTHO®). Pour rendre la profondeur de l'eau, nous utilisons le paramètre *ColorMap* du *RasterSymbolizer* de la norme SLD/SE. Ceci permet d'affecter des couleurs, palettes

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEOmatics conference, SAGEO 2015.

de couleurs ou gradients de couleurs pour des valeurs ou intervalles de valeurs choisis, qui dans notre cas, correspondent aux profondeurs d'eau. L'utilisation de l'option interpolation de couleurs dans l'outil *ColorMap* entre plusieurs valeurs de profondeur permet d'obtenir un rendu continu, contrairement à l'utilisation de teintes hypsométriques. Nous avons utilisé ici le moteur de rendu développé sur la plateforme OpenSource GeOxygene (IGN et version OpenGL développée dans le cadre du projet ANR Mapstyle) qui permet entre autres l'utilisation de rendus expressifs afin de styliser des éléments et augmenter le réalisme des visualisations. Notre méthode est applicable à tout logiciel utilisant la norme SLD.

4.2. Application 1 : visualisation hybride LiDAR et carte

L'application se positionne sur les usages classiques des cartes à l'échelle 1 :25 000 de la zone littorale (randonnées à pied, à vélo, etc.). Actuellement, seule la carte ScanLittoral® est disponible pour le littoral français (terre et mer, cf Figure 6) et est obtenue à partir de processus cartographiques différents et donnent lieu à une hétérogénéité visuelle de part et d'autre du trait de côte. Les légendes sont définies par les agences nationales de cartographie. Notons également que l'information de marée est importante pour des usages de randonnée, de pêche ou autres applications de loisir en bord de mer. Afin d'améliorer la visualisation maritime des cartes existantes, nous nous sommes inspirés de la légende officielle de l'Organisation Hydrographique Internationale (OHI) des cartes maritimes pour paramétrer le rendu de profondeur d'eau. La paramétrisation est définie en Table 1. Les couleurs des profondeurs intermédiaires sont ensuite obtenues par interpolation linéaire. Les éléments cartographiques de la terre sont stylisés à partir du style standard de l'IGN. La visualisation obtenue (cf Figure 7) est comparée à la carte ScanLittoral® (cf Figure 6).

Table 1 : Palette de couleurs issue du standard officiel maritime

| Profondeur (m) | 0 | -5 | -10 | -20 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| Couleur | #6fbeba | #b3d9ff | #cbf0ff | #fefefe |

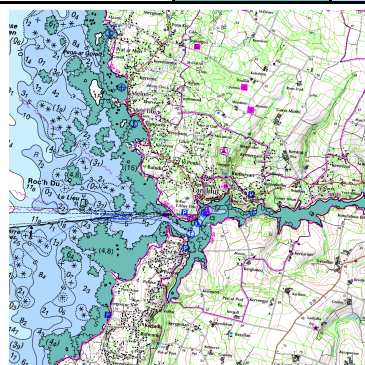


Figure 6 : Carte ScanLittoral®,
échelle 1 :25 000

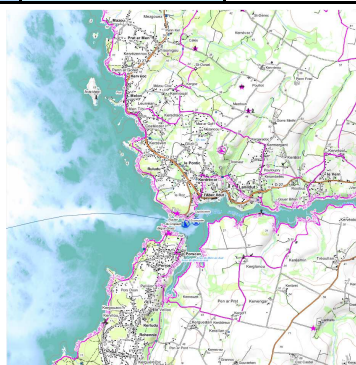


Figure 7 : Résultat de notre système de
visualisation, échelle 1 :25 000

4.3. Application 2 : Visualisation hybride LiDAR et ortho-image

Dans le cas des ortho-images du littoral et notamment pour l'observation de la mer, plusieurs phénomènes peuvent apparaître et causer des irrégularités de visualisation : niveau d'eau, couleur, luminosité, texture, etc. (cf Figure 8). Afin de corriger ces problèmes de visualisation, nous proposons de remplacer la partie maritime d'une ortho-image par des données enrichies par notre méthode : la profondeur de l'eau et l'interface terre/mer dynamique. Nous nous sommes inspirés des couleurs de la mer dans l'ortho-image afin de reproduire manuellement un style « mer ortho image » (cf Table 2). Le résultat du rendu est présenté en Figure 9, la partie ortho image est conservée pour la terre et seule la partie maritime est rendue à l'aide de notre méthode. Le résultat se rapproche de la réalité de l'ortho-image de la BD ORTHO® et corrige les irrégularités de cette dernière. La perception du fond marin ajoute ainsi du sens à l'ortho-image et permet donc une meilleure transmission de l'information côté mer avec, comme pour l'application 1, une meilleure perception des zones immergées/émergées.

Table 2 : Palette de couleurs extraites de la partie maritime de la BD ORTHO®

| Profondeur (m) | 0 | -5 | -10 | -20 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| Couleur | #263641 | #4A7570 | #26454F | #273D4C |

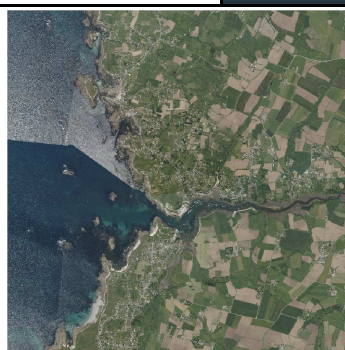


Figure 8 : BD ORTHO® 50cm

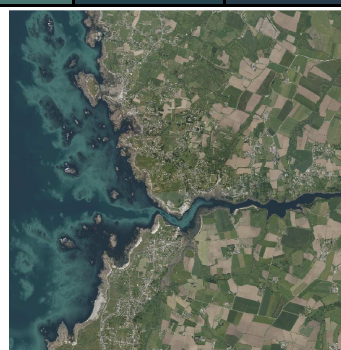


Figure 9 : Résultat de la visualisation (mer) et BD ORTHO® (terre)

4.4. Illustrations de l'évolution des visualisations des deux applications en fonction de l'état de marée

La Figure 10 illustre l'évolution de la visualisation en fonction du niveau de marée. Concernant la partie maritime du rendu cartographique (1.a à 1.d), nous pouvons observer l'évolution des couleurs et de la séparation terre/mer. Cette variation du rendu en fonction de l'état de marée, et donc de la profondeur de la mer, ajoute un peu plus au réalisme et de crédibilité à l'information transmise par la visualisation du littoral, notamment pour les zones immergées/émergées et la

perception des fonds marins. Comme pour l'application 1, nous pouvons observer la variation du rendu pour la visualisation hybride LiDAR/ortho-image (2.a à 2.d) en fonction de l'état de marée. Pour aller plus loin, nous observons que l'information de profondeur ne suffit pas pour représenter de manière exacte la couleur de la mer, il faudrait ainsi ajouter la connaissance de la nature du fond marin (information incomplète et imprécise), la composition de l'eau voire la modélisation des courants pour pouvoir simuler de manière encore plus réaliste la partie maritime de notre visualisation de la zone côtière.

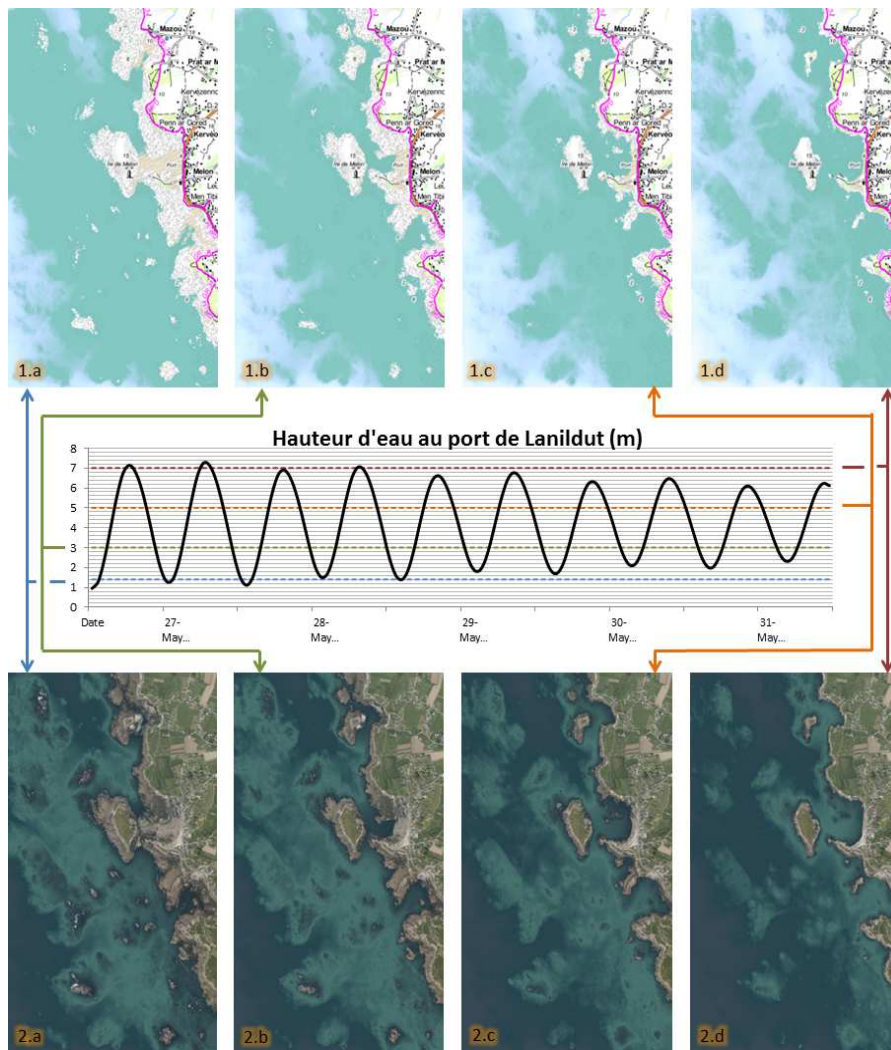


Figure 10 : Visualisation de l'île de Melon pour les applications (1) et (2) à différents états de marée (hauteur d'eau) : (a) 1,4m (b) 3m (c) 5m et (d) 7m

5. Conclusion et perspectives

Les applications présentées précédemment ont permis de faire plusieurs constats : (1) l'utilisation de données plus précises influe positivement sur la perception du réalisme, notamment pour la perception des fonds marins et des zones immergées/émergées, ce qui améliore la crédibilité des informations transmises par la visualisation, (2) la méthode est générique, indépendante des bases de données utilisées (ortho-image ou vecteur), (3) la paramétrisation du rendu permet de s'adapter facilement aux différents cas d'applications, seule la palette de couleurs est modifiée dans nos applications, la donnée profondeur d'eau étant identique et (4) la méthode a permis une intégration visuelle de données hétérogènes afin d'obtenir un rendu homogène. Les applications présentées ouvrent également la voie à de nouveaux cas d'usages des visualisations en zone littorale avec des itinéraires de randonnées pouvant désormais prendre en compte les dynamiques de l'interface terre/mer mais également d'autres utilisations comme la pêche à pied, la baignade, etc. Deux perspectives majeures sont envisagées. La première concerne l'évaluation des rendus proposés, notamment sur le choix des styles utilisés et de leur impact sur le degré de réalisme perçu. Cette évaluation se basera sur les protocoles d'évaluation proposés par Hoarau et Christophe (2015) à partir d'un panel d'utilisateurs afin de paramétrer les interpolations de couleurs. La seconde perspective concerne la validation de la généricité et de la reproductibilité de la méthode avec des tests d'intégration de données de même nature (LiDAR, ortho-image, carte) mais de sources différentes.

Remerciements

Ce travail est financé par l'Agence Nationale de la Recherche, projet MapStyle [ANR-12-CORD-0025]. Nous tenons également à remercier l'IGN et le SHOM pour les données mises à disposition.

Bibliographie

- Allen, T., Sanchagrin, S. et Lee, N. (2010). Geovisualization Strategies To Analyze and Communicate Inundation Risk From Storm Surges.
- Andrienko, G., Andrienko, N., Dykes, J., Fabrikant, S. I. et Wachowicz, M. (2008). Geovisualization of dynamics, movement and change: key issues and developing approaches in visualization research. *Information Visualization*, vol. 7, p. 173–180.
- Bertin, J. (1967). *Sémiologie graphique : Les diagrammes-Les réseaux-Les cartes*, Mouton & Cie ed. Gauthier-Villars, Paris.
- Bouatouch, K. et Bouville, C. (2013). *Photorealism in Computer Graphics*. Springer Science & Business Media.
- Christophe, S. (2011). Creative colours specification based on knowledge (ColorLegend System). *The Cartographic Journal*, vol. 48, p. 138–145.
- Dachsbacher, C., Bolch, T. et Stamminger, M. (2006). Procedural reproduction of terrain textures with geographic data.
- Depraetere, C. et Dahl, A. L. (2007). *Island locations and classifications*, Baldacchino G., p. 57 - 105.

Copyright © by the paper's authors. Copying permitted for private and academic purposes. Proceedings of the Spatial Analysis and GEomatics conference, SAGEO 2015.

- Fogleman, B. D. (2009). Erosion Modeling: Use of Multiple-Return and Bare-Earth LIDAR Data to Identify Bare Areas Susceptible to Erosion MacRidge, Training Area J, Fort Bragg, NC.
- Forlani, G., Nardinocchi, C., Scaioni, M. et Zingaretti, P. (2003). Building reconstruction and visualization from lidar data. *International Archives Of Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, vol. 34, p. 151–156.
- Fujisaki, I. (2005). *LiDAR-based forest visualization : Modeling Forest Stands and User Studies*. thèse from Mississippi State University.
- Guilford, J. et Palmer, M. (2008). Multiple Applications of Bathymetric LIDAR. *Proceedings of the Canadian Hydrographic Conference and National Surveyors Conference*.
- Haller, M. (2004). Photorealism or/and Non-photorealism in Augmented Reality. *SIGGRAPH'04*.
- Hardin, E., Mitasova, H., Tateosian, L. et Overton, M. (2014). *GIS-based Analysis of Coastal Lidar Time-Series*. Springer New York, New York, NY.
- Harrower, M. et Brewer, C. A. (2003). ColorBrewer. org: an online tool for selecting colour schemes for maps. *The Cartographic Journal*, vol. 40, p. 27–37.
- Hoarau, C. et Christophe, S. (2015). Color and textures interpolation for homogeneous sliding between orthoimagery and vector data, GeoVIS'15 - GeospatialWeek 2015, La Grande Motte, France.
- Hoarau, C., Christophe, S. et Mustière, S. (2013). Mixing, Blending, Merging or Scrambling Topographic Maps and Orthoimagery in Geovisualization? *26th International Cartographic Conference (ICC'13)*.
- Hu, Y. (2004). *Automated extraction of digital terrain models, roads and buildings using airborne LiDAR data*. thèse from University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada, p. 222.
- Hurtut, T., Landes, P.-E., Thollot, J., Gousseau, Y., Drouillhet, R. et Coeurjolly, J.-F. (2009). Appearance-guided Synthesis of Element Arrangements by Example. *NPAR 2009 - 7th International Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, Aug 2009*.
- Keim, D., Andrienko, G., Fekete, J.-D., Görg, C., Kohlhammer, J. et Melançon, G. (2008). *Visual analytics: Definition, process, and challenges*, Springer Berlin Heidelberg, p. 154-175.
- Kent, A. (2009). Topographic Maps: Methodological Approaches for Analyzing Cartographic Style. *Journal of Map & Geography Libraries*, vol. 5, p. 131-156.
- Leone, F., Péroche, M. et Gutton, R. (2014). Le risque tsunami en Martinique : planifier une évacuation préventive en optimisant l'accessibilité de sites refuges. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 14.
- Loi, H., Hurtut, T., Vergne, R. et Thollot, J. (2013). Discrete texture design using a programmable approach. *ACM SIGGRAPH 2013 Talks*.
- Longley, P. (2005). *Geographic information systems and science*. John Wiley & Sons.
- Louvar, L. et Gâteau, C. (2005). The Litto3D Project.
- Lupp, M. (2007). Styled layer descriptor profile of the web map service implementation specification. *Open Geospatial Consortium Inc. OGC*, vol. 1.
- MacEachren, A. M. et Kraak, M.-J. (2001). Research challenges in geovisualization. *Cartography and Geographic Information Science*, vol. 28, p. 3–12.

- Mengguo, L., Dongming, C., Zheng, Z. et Bei, L. (2000). A 2D Tidal Current Visualization Mathematical Model for Coastal and Estuarine Waters. *Marine Science Bulletin-Tianjin*, vol. 19, p. 57–65.
- Müller, M. (2006). Symbology Encoding Implementation Specification. *OGC Document Number: OGC*.
- Nicholls, R. J. et Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *Science*, vol. 328, p. 1517–1520.
- Ory, J., Christophe, S. et Fabrikant, S. I. (2013). Identification of styles in topographic maps. *Proceedings of the 26th International Cartographic Conference (ICC 2013)*.
- Pastol, Y., LE ROUX, C. et LOUVART, L. (2007). LITTO3D: a seamless digital terrain model. *The International hydrographic review*, vol. 8, p. 38–44.
- Patterson, T. (2002). Getting Real: Reflecting on the New Look of National Park Service Maps. *Cartographic Perspectives*, p. 43-56.
- Patterson, T. (2014). Mountains Unseen: Developing a Relief Map of the Hawaiian Seafloor. *Cartographic Perspectives*, p. 5-18.
- Poulter, B. et Halpin, P. N. (2008). Raster modelling of coastal flooding from sea-level rise. *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 22, p. 167–182.
- Rensink, R. A., O'Regan, J. K. et Clark, J. J. (1997). To see or not to see: The need for attention to perceive changes in scenes. *Psychological science*, vol. 8, p. 368–373.
- Sardá, R., Avila, C. et Mora, J. (2005). A methodological approach to be used in integrated coastal zone management processes: the case of the Catalan Coast (Catalonia, Spain). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, vol. 62, p. 427-439.
- Semmo, A., Kyprianidis, J. E., Trapp, M. et Döllner, J. (2013). Real-Time Rendering of Water Surfaces with Cartography-Oriented Design.
- Smeeckaert, J., Mallet, C., David, N., Chehata, N. et Ferraz, A. (2013). Large-scale classification of water areas using airborne topographic lidar data. *Remote Sensing of Environment*, vol. 138, p. 134–148.
- Tateosian, L., Mitasova, H., Thakur, S., Hardin, E., Russ, E. et Blundell, B. (2014). Visualizations of coastal terrain time series. *Information Visualization*, vol. 13, p. 266-282.
- White, S. A. et Wang, Y. (2003). Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. *Remote sensing of environment*, vol. 85, p. 39–47.
- Yang, B., Hwang, C. et Cordell, H. K. (2012a). Use of LiDAR shoreline extraction for analyzing revetment rock beach protection: A case study of Jekyll Island State Park, USA. *Ocean & Coastal Management*, vol. 69, p. 1–15.
- Yang, B., Madden, M., Kim, J. et Jordan, T. R. (2012b). Geospatial analysis of barrier island beach availability to tourists. *Tourism Management*, vol. 33, p. 840-854.
- Yang, Z., Wang, T., Cline, D. et Williams, B. (2014). Hydrodynamic Modeling Analysis to Support Nearshore Restoration Projects in a Changing Climate. *Journal of Marine Science and Engineering*, vol. 2, p. 18-32.
- Yu, Q., Neyret, F., Bruneton, E. et Holzschuch, N. (2011). Lagrangian texture advection: Preserving both spectrum and velocity field. *Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on*, vol. 17, p. 1612–1623.