

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET METIERS
ÉCOLE SUPÉRIEURE DES GÉOMÈTRES ET TOPOGRAPHES

MÉMOIRE

présenté en vue d'obtenir

le DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

Spécialité : Géomètre et Topographe

par

Emma BONHOMME

Etude d'opportunité et implémentation de services web 3D sur GéoBretagne

Soutenu le 1^{er} juillet 2016

JURY

PRESIDENT : Madame Joëlle DUROY

MEMBRES : Madame Lydie VINSONNEAU

Monsieur Jean-Michel FOLLIN

Madame Marie-Pierre DOIN

Madame Elisabeth SIMONETTO

Maitre de stage

Professeur référent

Remerciements

Avant de commencer, j'aimerais remercier l'ensemble des personnes qui m'ont aidé, soutenu et qui ont contribué au bon déroulement de mon stage durant ces 20 semaines.

Je tiens tout d'abord à remercier Lydie VINSONNEAU, mon maître de stage, pour sa disponibilité, sa confiance et son aide tout au long de mon stage. Je remercie également l'ensemble du POLOI, Magalie BEBIN, Loïc ECAULT, Stéphane MEVEL-VIANNAY et Sébastien PELHATE pour leurs conseils et leur aide apportée au fil de mes questions.

Je remercie aussi l'équipe des administrateurs de GéoBretagne côté DREAL, et les partenaires et utilisateurs de GéoBretagne qui ont répondu à mes questions et m'ont permis d'avancer durant ce stage.

Je tiens aussi à remercier Jean-Michel FOLLIN, mon professeur référent, pour sa disponibilité et son accompagnement pendant la durée de ce stage.

Pour finir je remercie toutes les personnes non citées qui ont contribué à ce rapport, ainsi que ma famille qui n'a cessé de me soutenir durant toutes ces années d'études.

Liste des abréviations

2D : 2 Dimensions

3D : 3 Dimensions

AITF : Association des Ingénieurs Territoriaux de France

API : Application Programming Interface

BIM : Building Information Modeling

CityGML : City Geography Markup Language

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement de l'Aménagement et du Logement

ESRI : Environmental Systems Research Institute

GDAL : Geospatial Data Abstraction Library

GNSS : Global Navigation Satellite System

GPL: General Public License

GRASS : Geographic Resources Analysis Support System

IDS : Infrastructure de Données Spatiales

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

LiDAR : Light Detection And Ranging

LoD : Level of Detail

MNE : Modèle Numérique d'Élévation

MNS : Modèle Numérique de Surface

MNT : Modèle Numérique de Terrain

OGC : Open Geospatial Consortium

OSGeo : Open Source Geospatial foundation

PLU : Plan Local d'Urbanisme

POLOI : PÔLe de l'Observation et de l'Information géographique de la Région Bretagne

SAGA : System for Automated Geoscientific Analyses

SIG : Système d'Information Géographique

SITG : Système d'Information du Territoire à Genève

SLAM : Simultaneous Localization And Mapping

TMS : Tile Map Service

UMR : Unité Mixte de Recherche

UMS : Unité Mixte de Service

WFS : Web Feature Service

WMS : Web Map Service

WMTS : Web Map Tile Service

WPS : Web Processing Service

XML : eXtensible Markup Language

Glossaire

3D : elle caractérise l'espace qui nous entoure, tel que perçu par notre vision, en termes de largeur, hauteur et profondeur. Elle correspond aussi à une représentation des objets en perspectives. Au fil du temps, la 3D est aussi devenue la représentation en image de synthèse.

3d-tiles : spécification ouverte pour la diffusion massive des jeux de données 3D hétérogènes.

Addon : extension d'un programme informatique qui lui apporte de nouvelles fonctionnalités, aussi appelé plugin.

API : interface de programmation applicative. C'est un ensemble de fonctions permettant d'accéder aux services d'une application, par l'intermédiaire d'un langage de programmation.

AutoDesk : entreprise de logiciel de design et de contenu digital.

BIM : méthodes de travail autour d'une maquette numérique 3D, qui contient des données intelligentes et structurées.

Courbes de niveau : lignes imaginaires formées par les points du relief situés à la même altitude.

ESRI : société éditrice de logiciels de systèmes d'information géographique.

framework : ensemble d'outils constituant les fondations d'un logiciel informatique ou d'applications web, et destiné autant à faciliter le travail qu'à augmenter la productivité du programmeur qui l'utilisera.

geOrchestra : IDS libre, interopérable et modulaire, créée en 2009 pour répondre aux exigences de la directive INSPIRE en Europe.

IGN : institut national de l'information géographique et forestière.

INSPIRE : directive 2007/2/CE du Parlement européen et du Conseil du 14 mars 2007 établissant une infrastructure d'information géographique dans la Communauté européenne.

JQuery : bibliothèque JavaScript libre et multi-plateforme créée pour faciliter l'écriture de scripts côté client dans le code HTML des pages web.

MNE : c'est un cas particulier du MNT dans lequel la variable à traiter est l'élévation du sursol. Il correspond aussi à la différence entre le MNS et le MNT.

mviewer : visualiseur géographique basé sur OpenLayers 3.10.0 et JQuery mobile 1.4.0 inspiré d'un travail réalisé par Metz Métropole.

OpenLayers : bibliothèque JavaScript libre créée pour afficher des données cartographiques dans la plupart des navigateurs modernes.

Oslandia : société spécialisée en solutions SIG Open Source.

sviewer : visualiseur géographique web simplifié, basé sur OpenLayers et JQuery mobile qui fonctionne avec l'IDS geOrchestra.

TMS : c'est une spécification d'affichage des cartes web tuilées, développée par une petite communauté de membres de l'OSGeo mais non reconnue à titre d'œuvre ou de projet officiel.

webGL : spécification pour les navigateurs web qui permet de faire de l'affichage 3D sur le Web, en utilisant, via OpenGL, les capacités des processeurs graphiques et des cartes graphiques, pour les calculs d'affichage des objets 3D, en se passant de plugin.

Table des matières

Remerciements	2
Liste des abréviations	3
Glossaire	5
Introduction	9
I ETAT DE L'ART	11
I.1 ETAT DE L'EXISTANT SUR GEOBRETAGNE	11
I.1.1 <i>Philosophie et fonctionnement de GéoBretagne</i>	11
I.1.2 <i>Données 3D</i>	11
I.1.3 <i>Technologies de visualisation</i>	12
I.1.3.1 geOrchestra et mapfishapp	12
I.1.3.2 Mviewer	12
I.1.3.3 sviewer	14
I.2 LES TECHNOLOGIES 3D	14
I.2.1 <i>La troisième dimension : définition</i>	14
I.2.2 <i>Acquisition des données 3D</i>	15
I.2.2.1 Acquisition sur le terrain	15
I.2.2.2 Acquisition à distance	16
I.2.3 <i>Restitution des données 3D</i>	16
I.2.3.1 Sous forme de maquette numérique 3D	16
I.2.3.2 Sous forme de réalité augmentée	17
I.2.3.3 Sous forme de vues immersives	17
I.2.4 <i>Visualisation des données 3D</i>	17
I.2.4.1 Logiciels Desktop	17
I.2.4.2 Visualiseur ou application Web	18
I.2.4.3 Smartphone ou tablette	19
I.2.5 <i>Stockage des données 3D</i>	19
I.2.5.1 Standard de l'OGC	19
I.2.5.2 Autres formats de stockage	20
I.3 SERVICES WEB GEOGRAPHIQUES 3D	21
I.3.1 <i>Services de visualisation</i>	21
I.3.2 <i>Services de calculs</i>	22
I.3.3 <i>Services d'exportation</i>	24
II ETUDE ET ANALYSE DES BESOINS	26
II.1 BESOINS DES ADMINISTRATEURS DE GEOBRETAGNE	26
II.2 BESOINS DES UTILISATEURS ET PARTENAIRES	26
II.2.1 <i>Collecte des données à l'aide d'un sondage</i>	26
II.2.2 <i>Rencontre avec les partenaires et utilisateurs</i>	29
II.2.2.1 Rennes Métropole	29
II.2.2.2 Pays de Guingamp	29
II.2.2.3 Brest Métropole	29
II.2.2.4 Université et recherche	29
II.3 ANALYSE DES BESOINS	30
II.3.1 <i>Spécifications des données</i>	30

II.3.2	Spécifications des fonctionnalités du système.....	30
II.3.3	Spécifications techniques.....	31
III	MISE EN ŒUVRE DE SOLUTIONS ET PROTOTYPES.....	33
III.1	ETUDE ET TESTS DES TECHNOLOGIES 3D LIBRES	33
III.1.1	Cesium.....	33
III.1.2	mapfishapp / mviewer / svviewer	33
III.1.3	Potree.....	33
III.1.4	iTowns.....	34
III.1.5	Comparaison des technologies 3D.....	34
III.2	SERVICES 3D IMPLÉMENTES.....	34
III.2.1	Export des données	34
III.2.1.1	Choix des dalles	34
III.2.1.2	Choix de l'outil.....	35
III.2.1.3	Choix des formats d'export	37
III.2.2	Calculs 3D	37
III.2.2.1	Ergonomie	37
III.2.2.2	Calculs implémentés	38
III.2.2.3	Détail des technologies employées et des scripts	39
III.2.3	Visualisation 3D.....	42
III.2.3.1	Sviewer.....	42
III.2.3.2	Mviewer	42
III.2.3.3	Comparaison mviewer / svviewer	43
III.2.3.4	Service de visualisation 3D avec vue aérienne.....	44
III.2.4	Réalité augmentée.....	45
IV	PERSPECTIVES	46
IV.1	EN TERMES DE DONNEES	46
IV.2	FONCTIONNELLES	46
IV.3	TECHNIQUES	46
	Conclusion.....	48
	Bibliographie	50
	Table des annexes.....	52
	Liste des figures.....	66

Introduction

Aujourd'hui nous utilisons de plus en plus la 3D, en perpétuelle évolution. Cet usage s'est accru avec l'arrivée du BIM et du tout connecté (réalité augmentée, réalité virtuelle etc.) De nombreuses entreprises l'utilisent et la développent pour les éléments de notre vie quotidienne. Cela nous permet depuis quelques années de pouvoir visionner des films en 3D, en salle de cinéma ou chez soi, de jouer à des jeux vidéo en 3D, et même d'imprimer des objets en 3D. L'usage de la 3D est apparu également sur les smartphones puisque de nombreuses applications se sont développées, ainsi que des kits permettant de se plonger dans un univers 3D. L'usage de la 3D est alors perçu comme une superfluité plus qu'une nécessité. Cependant dans d'autres cas, l'utilisation de la 3D s'avère une utilité, voire une nécessité, notamment dans les différents domaines d'applications des SIG.

L'objectif du SIG est de visualiser le territoire, de gérer les aménagements, construire des projets, etc. Mais actuellement, les SIG 2D n'exploitent pas l'ensemble de leurs possibilités, puisqu'il manque une dimension. En effet, il est plus facile de visualiser un territoire ou de créer un projet dans un environnement 3D.

De nombreux logiciels se développent pour permettre de visualiser et/ou d'analyser des données 3D. Certains permettent seulement la visualisation comme le plugin QGIS2tree.js du logiciel open source QGIS, d'autres logiciels, quant à eux, permettent d'effectuer divers calculs, par exemple des analyses de visibilité ou des simulations, comme le fait le logiciel Skyline Globe.

GéoBretagne est un partenariat, créé en 2007 entre la Région Bretagne et la DREAL Bretagne, dans le but de partager les données localisées des partenaires afin que chacun puisse les réutiliser. Ils ont créé par la même occasion leur plateforme SIG open source, pour visualiser et exploiter leurs données. Cette plateforme devient geOrchestra deux ans plus tard et est maintenant utilisée à l'international. Toutefois, elle ne permet pas de visualiser des données 3D, et les usages de ces dernières sont limités. La Région Bretagne, la DREAL Bretagne et certains partenaires ont des données en leur possession, qui ne sont pas réutilisées puisqu'elles ne sont pas mises à disposition ni stockées sur la plateforme GéoBretagne.

C'est pourquoi la Région Bretagne et la DREAL Bretagne souhaitent implémenter des services web 3D ergonomiques, interopérables et libres sur leur plateforme SIG, respectant les normes OGC et, répondant aux besoins des utilisateurs et de la communauté geOrchestra. L'objectif final de ce travail de fin d'études est de mettre en œuvre un prototype de services web 3D, pour valoriser les données disponibles. Afin de répondre à cet objectif, nous nous sommes posé plusieurs questions. Quelles données 3D peuvent être utilisées ? Quelles technologies 3D existent ? Quels services 3D sont actuellement disponibles dans le monde ? Quels sont les besoins des utilisateurs ? Que peuvent apporter des fonctionnalités 3D au projet geOrchestra ?

La première étape consiste à faire une présentation de GéoBretagne, un état de l'art des différentes technologies existantes, dans le domaine du web mapping et du SIG, et des différentes notions de 3D que l'on pourrait rencontrer. Cela nous a permis de nous situer dans le contexte et de savoir comment orienter nos recherches pour la suite. La deuxième étape est d'élaborer un cahier des charges. Pour cela, nous avons étudié les besoins des différents partenaires et utilisateurs de GéoBretagne, mais aussi des personnes extérieures. Nous avons également testé différents logiciels libres pour trouver le plus adapté aux différents besoins exprimés. Ensuite, nous avons mis en place un prototype de service qui pourrait être disponible sur GéoBretagne, en nous appuyant sur le cahier des charges élaboré. Pour finir nous aborderons les perspectives mises en évidence à la suite de ce travail de fin d'études.

I Etat de l'art

Avant de mettre en place des services web 3D, il est important de réaliser un état de l'art afin de prendre connaissance de l'existant. Dans cette partie, nous présenterons l'existant au niveau du partenariat GéoBretagne, nous détaillerons les différentes technologies 3D, puis les différents services web 3D qui peuvent s'appliquer à une région comme la Bretagne.

I.1 Etat de l'existant sur GéoBretagne

I.1.1 Philosophie et fonctionnement de GéoBretagne

Avant de faire un état des lieux disponible sur GéoBretagne, il est important d'expliquer la philosophie et le fonctionnement de ce partenariat.

Dès sa mise en place, les copilotes Etat et Région de GéoBretagne ont établi la philosophie de ce projet. Celle-ci se base sur des logiciels libres et ouverts, les codes sources sont disponibles sur internet. Un autre élément important est l'interopérabilité, et donc l'appui autant que possible sur les normes OGC afin que les données soient réutilisables par tous. Pour finir, il est aussi important d'avoir une IDS modulaire, qui puisse ainsi correspondre à chaque utilisateur.

Concernant le fonctionnement du partenariat, il est basé sur un schéma d'organisation et de gouvernance innovant, reposant sur des pôles métier. Ces derniers permettent aux partenaires d'échanger sur une thématique pour favoriser la mise en cohérence des données, mais aussi leur partage. Les sujets sont soit en lien avec un thème d'ordre national, comme le pôle métier urbanisme, soit d'ordre local, comme le pôle métier orthophotographie et MNT. Il en existe 10 au niveau du partenariat GéoBretagne, qui se réunissent deux à trois fois par an, sur la base d'une feuille de route.

I.1.2 Données 3D

Des données 3D sont actuellement disponibles sur la plateforme GéoBretagne. Leur précision et le pas de la grille sont résumés dans le tableau ci-dessous :

	Précision	Pas de la grille
Bâtiments issus de la BD Topo (LoD 1) et BD Topo	métrique	1 m
Données LiDAR	inférieur à 10 cm	1 – 5 m
MNT	0,80 m	5 m

Tableau 1 : Tableau des précisions et des pas de la grille des données existantes

I.1.3 Technologies de visualisation

Tout d'abord, nous allons aborder les technologies de visualisation actuellement disponibles sur GéoBretagne. Nous disposons de trois visualiseurs. Le premier est le visualiseur expert, orienté SIG et utilisé par les géomaticien, appelé « mapfishapp ». Ensuite nous avons le visualiseur thématique appelé « mviewer ». Pour finir nous avons le visualiseur simple, appelé « svviewer ».

I.1.3.1 geOrchestra et mapfishapp

geOrchestra est une IDS développée à l'initiative de la Région Bretagne et la DREAL Bretagne. En 2007, lors de la création de GéoBretagne, ces deux institutions décident de développer leur propre plateforme car aucune de celles disponibles ne correspond à leurs besoins. En 2009, la plateforme devient geOrchestra et le code source du projet [1] est placé sous licence libre GNU GPL afin d'en faire profiter le plus grand nombre. geOrchestra est un projet communautaire, où chacun peut contribuer. Actuellement, la plateforme est utilisée internationalement. On trouve la Bolivie, les régions Bretagne, Aquitaine, Picardie, Alsace, Auvergne, Nord-Pas-de-Calais, les agglomérations de Rennes Métropole, ViennAgglo, le Puy en Velay. Il y a aussi des organismes de recherche comme l'INRA, des UMR (Agrocampus Ouest Rennes, Université de Lorraine, etc.) et l'UMS du musée national d'Histoire Naturelle de Paris.

L'IDS comporte un visualiseur cartographique appelé mapfishapp, où l'on peut ajouter des addons afin de personnaliser son espace de travail. Ces addons permettent de mesurer des distances, de localiser une parcelle, d'obtenir les coordonnées d'un point, etc. De plus, deux addons utilisent la 3D dans leurs calculs :

- « calcul profil en long » : cet addon permet de générer dynamiquement un profil en long à partir d'un tracé effectué à main levée, ou d'une sélection d'entités linéaires ;
- « bassin versant » : cet addon permet aux utilisateurs de calculer le contour du bassin versant topographique à l'amont d'un ou de plusieurs points.

I.1.3.2 Mviewer

C'est un visualiseur open source développé par la région Bretagne. Il permet d'interroger les couches, d'effectuer des mesures, de rechercher à partir d'adresses ou d'entités géographiques et partager des cartes. Il est plus ergonomique que le visualiseur mapfishapp puisque lors de sa mise en ligne, on sélectionne les couches que l'on veut afficher. Grâce au sélecteur de couches, situé dans le panneau latéral, on peut ainsi sélectionner la ou les couches que l'on veut voir. Lorsque l'on clique sur un élément, une fiche d'information s'affiche dans le panneau latéral. Elle reprend les informations des champs de la couche définis au préalable. Cette fiche d'information peut être configurée de deux façons :

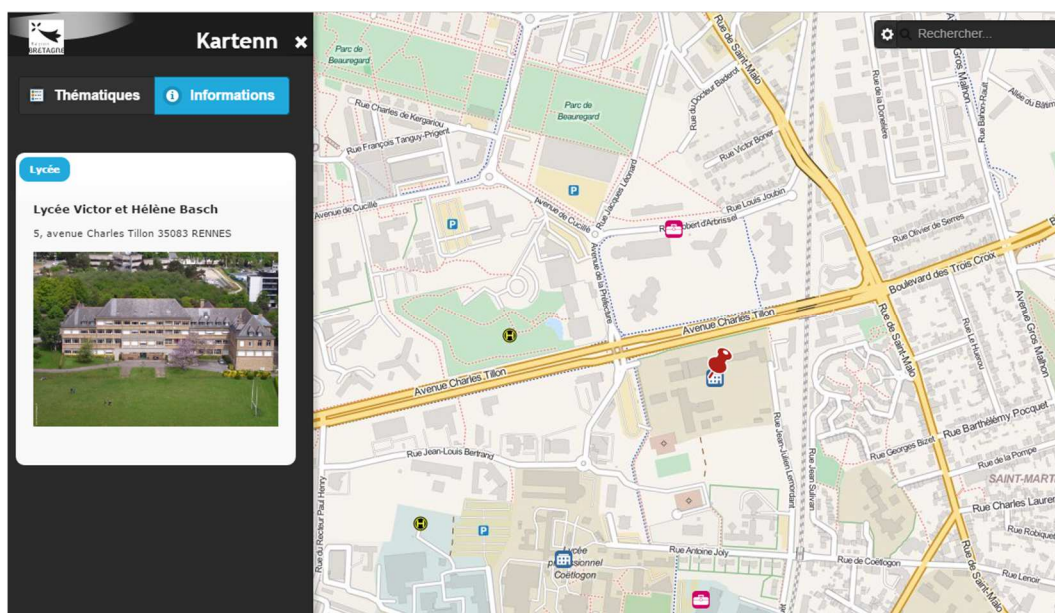
- côté client, en modifiant le fichier config.xml ;
- côté serveur, en ajoutant des fichiers .ftl (GetFeatureInfo Templates). Pour avoir un affichage personnalisé, il nous faut trois fichiers :
 - o header.ftl
 - o content.ftl
 - o footer.ftl

Lors de l’affichage des données sous mapfishapp ou sous QGIS, on obtient la liste des champs et leurs valeurs sous la forme d’un tableau, comme la **Figure 1**. Pour afficher seulement les informations qui nous intéressent, comme sur le panneau latéral gauche de la **Figure 2**, il faut modifier le fichier content.ftl.

Entité	Valeur
rb:lycee	
search_id	lycee.0352009U
(Dérivé)	
(Actions)	
code_rne	0352009U
search_id	lycee.0352009U
validation	1
nom	Lycée Victor et Hélène Basch
adresse	5, avenue Charles Tillon
adresse_c	NULL
code_posta	35083
libelle	RENNES
cedex	Cedex
reseau_lib	Education nationale
secteur_li	Public
type_etabl	Lycée
sources	NULL
x	351215.693737968
y	6790952.62610236
gestion_ba	1
photo	http://kartenn.region-bretagne.fr/img/lyc/0352009U.jpg

Figure 1: Champs et valeurs du lycée Victor et Hélène Basch sous QGIS

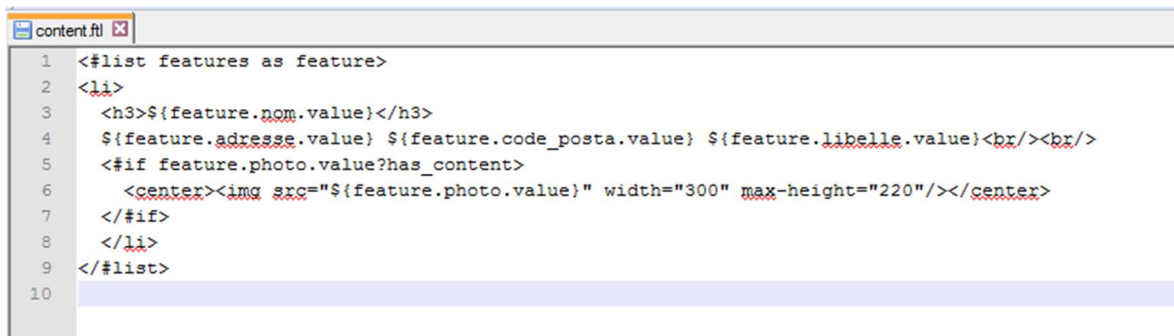
Figure 2: Légende du Lycée Victor et Hélène Basch sur le mvviewer



Sur la **Figure 3**, on peut voir le fichier content.ftl correspondant aux lycées de Bretagne. Le langage utilisé pour rédiger les fichiers .ftl est le FreeMarker. Le premier champ sélectionné est le nom du lycée « feature.nom.value », il est utilisé comme titre lors de l’affichage. On peut le voir en ligne 3 sur la **Figure 3**. Ensuite, nous avons l’adresse du lycée. Pour l’afficher complètement, nous juxtaposons trois éléments, décrits en ligne 4 sur la **Figure 3** :

- l’adresse : feature.adresse.value ;
- le code postal : feature.code_posta.value ;
- la ville : feature.libelle.value

Pour finir, nous demandons à afficher une photo si un lien est renseigné. Pour cela, nous écrivons une condition, définie de la ligne 5 à 7, puis si ce lien existe nous affichons la photo avec « feature.photo.value ».



```
1 <#list features as feature>
2 <li>
3 <h3>${feature.nom.value}</h3>
4 ${feature.adresse.value} ${feature.code_posta.value} ${feature.libelle.value}<br/><br/>
5 <#if feature.photo.value?has_content>
6 <center></center>
7 </#if>
8 </li>
9 </#list>
10
```

Figure 3: exemple de fichier content.ftl

I.1.3.3 svviewer

C'est un visualiseur open source développé par la DREAL Bretagne qui permet d'afficher des couches en les spécifiant dans l'URL. Il a l'avantage de fonctionner comme une API. Contrairement au mvviewer, il ne comporte pas de sélecteur de couches, puisqu'il est optimisé pour de l'affichage mono couche. Il permet d'interroger des couches, de rechercher à partir d'adresses, de partager des cartes et de sélectionner les informations à afficher, de la même manière que le mvviewer grâce aux fichiers .ftl. Il a l'avantage d'être facile à intégrer dans un site internet, d'être visualisé aussi bien sur ordinateur que sur smartphone.

I.2 Les technologies 3D

I.2.1 La troisième dimension : définition

On parle couramment de troisième dimension, ou 3D, lorsque l'on ajoute une altitude à un point (x,y). Mais en réalité, la troisième dimension est plus compliquée que cela. BORDIN [2] a bien défini ces différentes notions de 3D. Ces dernières s'appliquent aux éléments du terrain et non au MNT. La première notion est celle de $2D^{1/2}$ ou 2,5D. Chaque point (x,y) n'est pas interpolé, on peut lui donner une unique valeur de z. Cela correspond à la **Figure 4**. En effet, nous voyons une représentation de deux ponts sur cette image. Le premier est représenté en gris, et le deuxième en rouge. Nous pouvons voir que leur altitude est la même au niveau de leur croisement. Ensuite, nous avons la 3D où nous pouvons définir un nombre infini de valeur de z à un point (x,y). Cela correspond à la **Figure 5**. Sur cette image, chaque pont est représenté à une altitude différente. De plus, ces ponts sont représentés de façon plus complexe puisqu'à chaque point (x,y) nous leur avons attribués plusieurs altitudes.



Figure 4 : Représentation de la 2,5D



Figure 5 : Représentation de la 3D

I.2.2 Acquisition des données 3D

Maintenant que nous connaissons la différence entre les différentes notions se rapportant à la 3D, nous allons voir les différentes méthodes permettant d'acquérir de la 3D. Dans un premier temps, nous verrons les méthodes d'acquisition sur le terrain, puis les méthodes d'acquisition à distance dans un second temps.

I.2.2.1 Acquisition sur le terrain

Les premières méthodes pour acquérir des données 3D consistent à se rendre sur le terrain. On retrouve le levé tachéométrique, le levé par procédé satellitaire, la lasergrammétrie, la photogrammétrie terrestre et le SLAM :

- levé tachéométrique : cette méthode est utilisée lorsque nous faisons un levé topographique. En effet, lors d'un levé, nous avons un ou plusieurs points de référence, connus en planimétrie et altimétrie. Ainsi, lorsque nous lèverons d'autres points, nous les connaîtrons aussi en planimétrie et altimétrie. Bien sûr, ce n'est pas la méthode que l'on utilise si l'on veut gérer des maquettes numériques. Mais lorsque l'on veut travailler sur une petite zone, cette méthode est plus précise, d'autant plus qu'elle nous évite de prendre trop de points inutilisés, et facilite le traitement ;
- levé par procédé satellitaire : cette méthode est utilisée pour les mêmes raisons que précédemment. Selon la méthode utilisée, la précision et la mise en œuvre sont différentes. Le levé au GNSS sera de meilleure précision dans des zones dégagées, et si l'on utilise des méthodes de post-traitement longue durée ;
- lasergrammétrie terrestre : cette méthode s'utilise avec un scanner tridimensionnel et est utilisée lorsque l'on veut avoir un nuage de points, puisqu'elle a l'avantage de lever une zone en quelques minutes. Le scanner tridimensionnel peut aussi prendre les photos de la zone, ce qui permet d'avoir un rendu très réel du nuage de points ;
- photogrammétrie terrestre : méthode qui consiste à prendre des photos de différents points de vue pour ensuite reconstituer un modèle 3D ;
- SLAM : cette méthode consiste à construire ou améliorer une carte de son environnement et de s'y localiser, grâce à un robot ou un véhicule autonome. Une centrale inertielle peut être ajoutée afin de garantir la meilleure position malgré les coupures GNSS.

I.2.2.2 Acquisition à distance

Lorsque l'accès au site est impossible, ou qu'il est nécessaire de lever une plus grande zone, on peut utiliser des méthodes qui permettent d'acquérir des données à distance. On retrouve le LIDAR (aérien et bathymétrique), le sondeur multifaisceaux et l'appareil photo (posé sur un avion ou un drone) :

- photogrammétrie aérienne: cette méthode consiste à déterminer le relief à partir de couples de photographies. L'avantage de cette méthode est la possibilité d'acquérir une plus petite zone, en utilisant un drone afin d'avoir une meilleure résolution et précision ;
- lasergrammétrie aérienne : cette méthode utilise un LIDAR, qui envoie un faisceau de lumière, et calcule la distance à chaque point en fonction de son temps de retour. Cette méthode peut être utilisée sans être contrainte par la luminosité. Nous obtenons un nuage de points, de la même façon que le scanner tridimensionnel ;
- bathymétrie : cette méthode sert à lever le relief sous la mer. Pour cela, nous utilisons un sondeur multifaisceaux, qui va envoyer des ondes et ainsi connaître la distance lors du retour de celles-ci.

I.2.3 Restitution des données 3D

Il est important de restituer ses données 3D, puisque les données brutes en elles-mêmes ne sont pas forcément visualisables et réutilisables. Nous allons voir trois formes de restitution des données 3D. La première forme de restitution est sous forme de maquette numérique, la deuxième est sous forme de réalité augmentée et la dernière sous forme de vues immersives.

I.2.3.1 Sous forme de maquette numérique 3D

La première forme de restitution des données 3D est sous la forme d'une maquette numérique, comme l'on peut voir avec la ville de Lyon sur la **Figure 6**. Cela permet de visualiser son territoire, sous divers points de vue et ainsi d'avoir une vision globale. La plupart des communes ou des territoires dotés d'une maquette l'utilisent souvent pour faire de la communication sur les différents projets, puisque cela permet de les situer dans leur environnement. Mais certaines communes, comme la ville du Havre, ne l'utilisent pas seulement comme un outil de communication, mais aussi pour gérer et analyser leur territoire, comme pour une étude d'ensoleillement, ou une modélisation 3D du projet. De plus avec l'arrivée du BIM, les maquettes numériques vont devenir de plus en plus intelligentes. Ces maquettes sont dites intelligentes puisqu'elles contiennent des informations sur les différentes données présentes (maisons individuelles, copropriétés, monuments touristiques etc.) mais également pour avoir des informations sur les éléments qui les composent (fenêtres, murs, portes, etc.).



Figure 6: Maquette numérique 3D de la ville de Lyon (source: <http://data.grandlyon.com/>)

I.2.3.2 Sous forme de réalité augmentée

La deuxième forme de restitution de données 3D se fait grâce à la réalité augmentée. La réalité augmentée est l'insertion d'un élément 2D ou 3D dans une image réelle. Elle est souvent utilisée à partir d'un smartphone ou d'une tablette, ce qui permet de visualiser les différents éléments sur place. Certaines communes l'utilisent dans un but touristique afin de visualiser des sites emblématiques d'une ville tels qu'ils étaient autrefois. Mais certaines communes ou même des entreprises l'utilisent pour présenter projets à leurs clients. Pour cela il y a deux types d'applications. La première consiste à aller sur le site pour visualiser le projet d'aménagement dans son ensemble grâce à la tablette. On a dans ce cas des images réelles visualisable grâce à la tablette. La deuxième solution quant à elle présente l'avantage de pouvoir visualiser le projet en 3D n'importe où, grâce à un plan en 2D, comme on peut le voir sur la **Figure 7**. Dans ce cas, nous avons une mise à l'échelle pour pouvoir visualiser la maquette ou le bâtiment en 3D.



Figure 7: Exemple d'application de réalité augmentée (source : <http://www.krakenrealtime.com/>)

I.2.3.3 Sous forme de vues immersives

Pour finir, nous pouvons restituer les données 3D sous forme de vues immersives. Celles-ci permettent aux individus d'avoir une vue 360° de la photo ou de la vidéo qu'ils regardent. On peut ainsi parcourir l'une ou l'autre en changeant notre angle de vue. La photo 360° va même plus loin, puisque si l'on en assemble plusieurs, on peut passer en mode visite virtuelle comme l'application Street View.

I.2.4 Visualisation des données 3D

Nous avons différentes options pour visualiser les données 3D. Nous étudierons dans un premier temps les logiciels desktop, puis les visualiseurs ou applications web. Pour finir nous aborderons la visualisation sur smartphone et/ou tablette.

I.2.4.1 Logiciels Desktop

Que ce soit pour les logiciels desktop ou les visualiseurs web, il y a deux types de logiciels. Les logiciels propriétaires et les logiciels libres. Nous allons évoquer au préalable les solutions libres :

- QGIS : c'est un logiciel à partir duquel on peut effectuer des traitements et de la visualisation 3D, et plus particulièrement à partir des plugins et outils GRASS, GDAL, SAGA et LAsTools. GRASS est un logiciel topologique. Il comporte des fonctionnalités vectorielles 2D et 3D, en plus des fonctions de traitements d'images

et d'analyses raster. GDAL est une bibliothèque libre permettant de lire et de traiter un très grand nombre de format d'images géographiques. SAGA est un SIG libre destiné à l'analyse géoscientifique permettant d'effectuer simplement des analyses sur la base de la topographie. Les commandes de GRASS GDAL et SAGA sont accessibles dans la boîte à outils de traitements de QGIS. LAStools est un pluging qui permet de traiter les données LIDAR.

Mais nous avons également des logiciels propriétaires intéressants pour manipuler des données 3D. Certains de ces logiciels sont orientés SIG, d'autres sont davantage des logiciels de visualisation ou de manipulation de données 3D qui ne gèrent pas de données géographiques comme dans un SIG :

- ArcGIS : ce logiciel comporte des fonctions d'analyse 3D, et permet de traiter les données LIDAR et les MNT. Un visualiseur 3D est également disponible ;
- Autodesk : ce logiciel nous permet de visualiser des nuages de points, de planifier, de concevoir en 3D et de créer des modèles numériques de terrains ou de villes.
- Engage3D (MapInfo) : ce logiciel permet de faire des analyses, de visualiser et de modéliser des éléments en 3D ;
- Elyx3D : ce logiciel permet de gérer les données 3D géométriques et attributaires, d'exploiter les données permettant entre autres la visualisation et la navigation, d'effectuer des requêtes, des sélections de l'analyse ;
- Skyline : ce logiciel est un visualiseur qui permet d'effectuer des analyses, des requêtes et de présenter les données ;
- Spaceyes 3D : ce logiciel permet de visualiser et d'analyser, de simuler des projets d'aménagement et de communiquer ;
- Sketchup : ce logiciel permet de modéliser des données en 3D, et de les exporter dans différents formats.

I.2.4.2 Visualiseur ou application Web

De la même façon que pour les logiciels, nous allons traiter en premier lieu, les visualiseurs et applications libres :

- Cesium et ol3-Cesium: ce sont des bibliothèques javascript. Cesium permet d'afficher un globe terrestre, mais aussi de visualiser des données 3D grâce à 3D-tiles. Ce dernier nous permet de visualiser des modèles 3D, mais également des données LiDAR. Malheureusement pour nous, le développement de cette branche est en cours, puisqu'elle a été publiée depuis à peine un an ;
- iTowns : c'est un framework web écrit en javascript et WebGL qui permet de visualiser des données géographiques 3D comme des vues de rues, des images LiDAR terrestres, des nuages de points, des images orientées, des images panoramiques, des modèles 3D texturés et des vecteurs WFS. La version 2, en cours de développement, permet de visualiser le territoire vu d'en haut ;
- Potree : Potree : c'est un visualiseur WebGL pour les nuages de points volumineux. Il sera bientôt intégré dans iTowns pour gérer la visualisation des données LiDAR ;

- QGIS2three.js : c'est l'extension de QGIS qui permet de visualiser les données sur le web, ou localement.

Mais nous avons également des logiciels propriétaires :

- Google Earth : c'est un logiciel et plugin permettant de visualiser un globe virtuel, des bâtis 3D, des images et des reliefs ;
- Spaceyes 3D : c'est l'application du logiciel du même nom qui permet de visualiser les données sur le web ;
- Skyline Globe : c'est l'application du logiciel du même nom qui permet de visualiser les données sur le web.

I.2.4.3 Smartphone ou tablette

Enfin, la dernière technique de visualisation de données 3D se fait à partir de smartphones ou tablettes. En effet, nous avons abordé précédemment la réalité augmentée. Ce sont ces restitutions que nous allons visualiser sur nos smartphones et tablettes, puisque dans la majeure partie des cas, nous avons besoin d'être sur place. Bien sûr, certaines applications ou logiciels vus précédemment font aussi une version mobile, ce qui permet de les visualiser sur petit écran plus facilement. La visualisation sur smartphone et tablette permet de tirer partie des capteurs embarqués (GNSS, l'appareil photo, la boussole, etc.), mais il est important de prendre en compte leurs limites (taille d'écran, ergonomie adaptée, etc.).

I.2.5 Stockage des données 3D

Pour finir, nous allons voir le stockage des données 3D. Nous allons dans un premier temps parler du standard OGC. Ensuite, nous aborderons les autres formats de stockage.

I.2.5.1 Standard de l'OGC

L'OGC développe et promeut des standards ouverts pour garantir l'interopérabilité des contenus, des services et des échanges dans les domaines de la géomatique et de l'information géographique.

- CityGML : *« c'est un standard de l'OGC conçu pour les modèles 3D urbain et de territoires. Il comporte des définitions de classes et relations pour les objets les plus courants. Les propriétés géométriques, topologiques et sémantiques sont décrites ainsi que les modes de représentation. Il est encore peu utilisé dans les SIG »* d'après PORNON [3]. Une des caractéristiques de ce format est la gestion du multi-échelle avec le concept de LoD, comme on peut le voir sur la **Figure 8** :
 - o LoD 0 : échelle régionale avec la représentation du terrain (orthophoto, carte, MNT, etc.) ;
 - o LoD 1 : échelle à la vue urbaine, les bâtiments sont sous formes de blocs, sans toit ;

- o LoD 2 : échelle du quartier, les bâtiments sont modélisés avec leurs toits. On peut ajouter des objets de végétation, de mobilier urbain, de réseaux de transport ;
- o LoD 3 : échelle architecturale (extérieure), Tous les détails sont modélisés, on y ajoute aussi les structures haute résolution. Les éléments ajoutés auparavant sont également détaillés ;
- o LoD 4 : échelle architecturale (intérieure), ce niveau est en cohérence avec le modèle IFC, il comporte la géométrie intérieure d'un bâtiment (portes, escalier, etc.).

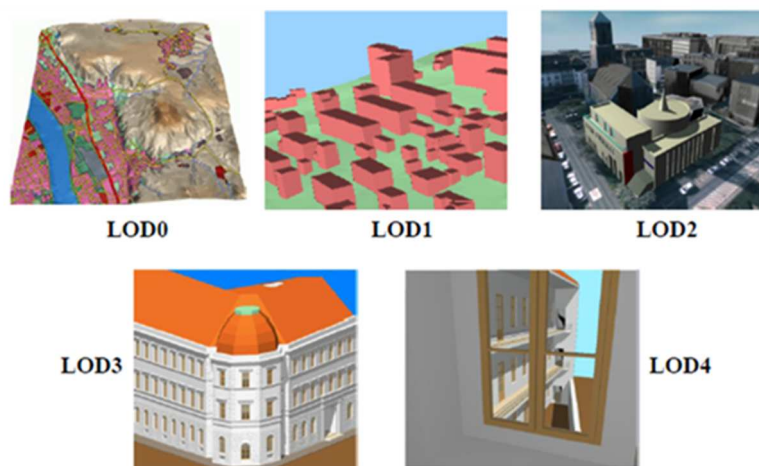


Figure 8: Les cinq niveaux de détails (LoD) définis dans CityGML (source: IGG Uni Bonn); Extrait de OGC CityGML

I.2.5.2 Autres formats de stockage

Nous avons également d'autres formats de stockage qui ne sont pas des standards OGC, mais qui sont utilisés pour stocker et échanger de la 3D.

- DAE : aussi appelé Collada, c'est un format XML ouvert pour échanger les acquisitions numériques ;
- LAS : c'est un format binaire pour l'échange de données nuages de points en 3D ;
- ASCII GRID : c'est un format binaire de données raster, utilisé pour les MNT ;
- GeoTIFF : c'est un standard qui permet d'ajouter des informations de géoréférencement à une image TIFF ;
- 3DS : c'est un format de fichier utilisé par Autodesk pour stocker de la modélisation 3D. Il est « couramment utilisé pour échanger des bâtiments ou de petites maquettes » d'après PORNON [3] ;
- shapefile3D : c'est un format de fichier issu du monde des SIG, il contient toute l'information liée à la géométrie des objets ;
- IFC : c'est une norme conçue « pour la modélisation 3D des bâtiments. » permettant « d'échanger et de partager des informations sur les différentes approches des bâtiments entre logiciels » d'après PORNON [3] ;
- pnts : format Cesium permettant de stocker des points LiDAR. Son avantage est d'être deux fois moins lourd que le format .las ;

- b3dm : Batched 3D Model. Format Cesium permettant de stocker des modèles 3D, tels que des bâtiments.

I.3 Services web géographiques 3D

« Les services web géographiques sont des services web permettant d'effectuer des traitements géomatiques ou géographiques, de renvoyer des cartes ou de donner accès à des données géographiques. » d'après PORNON, YALAMAS, PELEGRIS [4]. On peut donc dire qu'un service web géographique 3D est un service web permettant d'effectuer des traitements géomatiques ou géographiques en 3D, de renvoyer des modèles numériques 3D ou de donner accès à des données géographiques 3D. Dans cette partie, nous allons détailler les différents services qui existent au niveau international et qui peuvent être adaptés sur GéoBretagne. Nous les avons classés en trois catégories : services de visualisation, services de calculs et services d'exportation. Certains services ne sont pas disponibles sur internet, nous allons cependant les présenter afin de nous en inspirer. L'ensemble de nos recherches nous a permis de créer une liste non exhaustive de services.

I.3.1 Services de visualisation

Les premiers types de services qui existent sont les services de visualisation. Ceux-ci vont seulement permettre de visualiser les différentes données 3D. Ces services ne nécessitent aucun calcul, ce sont des couches qui sont publiées ou plusieurs fichiers de styles préenregistrés :

- grâce au service de visualisation qu'a mis en place GéoJura [5] sur sa plateforme SIG, on peut visualiser le territoire en 3D. Comme le montre la **Figure 9**, la première fenêtre permet de se situer sur un plan, avec la position représentée par un œil, et un point rouge représentant le point central de la vue 3D. La deuxième fenêtre permet de visualiser le modèle 3D de la ville ou du territoire ;



Figure 9: Visualisation du territoire en 3D (source: <http://geo.jura.ch/>)

- Dubliana [6] a mis en ligne une maquette 3D où l'on peut changer la date grâce à un curseur. Cela permet de suivre l'évolution de la ville mais aussi celle du tissu urbain ;
- le Grand Lyon a extrudé son PLU en 3 dimensions, « pour introduire la 3D sur des concepts urbanistiques habituellement en 2D.» d'après PASCALON [7]. Cela permet ainsi de visualiser les hauteurs maximales de chaque zone et de les confronter avec les hauteurs de bâtiments existants ;
- concernant les outils liés à l'altitude, le SITG a mis en place un outil, sur sa plateforme SIG, qui permet d'afficher les courbes de niveau. Mais on a aussi un outil qui permet de générer une carte de pente [8] ;
- enfin, on trouve les services de visualisation utilisant la réalité augmentée. Ceux-ci sont utilisés dans plusieurs milieux, professionnels ou non. Dans le domaine professionnel, la réalité augmentée nous permet de voir les réseaux [9], comme sur la **Figure 10**, les repères géodésiques [10], ou même d'aider dans la prise de décision des futurs projets [11]. Concernant son utilisation grand public, la réalité augmentée est utilisée dans le tourisme, pour visualiser des sites archéologiques [12] ou encore obtenir des informations lors d'une randonnée [13].



Figure 10: Utilisation de la réalité augmentée pour visualiser les réseaux (source : <https://bimbt.com/>)

I.3.2 Services de calculs

Les deuxièmes types de service que l'on peut trouver sont les services de calculs, on va ainsi pouvoir retourner un résultat selon le ou les calculs effectués :

- il existe plusieurs outils permettant d'obtenir un profil en long, avec des options qui peuvent être différentes. On trouve ainsi un outil qui permet d'inclure les bâtiments [8] ou encore un outil qui permet de faire le profil d'un itinéraire demandé [14] ;
- le canton d'Appenzell Ausserrhoden [15] a mis en place un outil permettant d'effectuer des calculs 3D sur son portail géographique. Ce service calcule la distance pente, la distance inclinée et la dénivelée comme le montre la **Figure11** ;

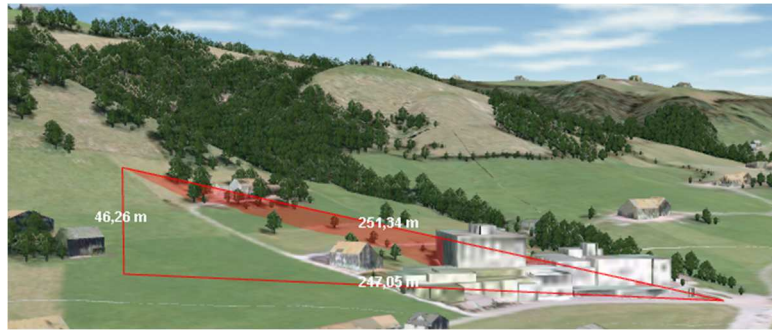


Figure 11: Calculs de distance inclinée et de dénivelée (source: <http://3dgeoportal.rgdi.ch/>)

- concernant les volumes, ESRI a, entre autres, mis en place un outil qui permet de calculer la différence entre deux volumes sur son logiciel [8]. Cela permet ainsi de calculer une différence entre un MNS et un MNT pour avoir le MNE ou deux MNT à des dates différentes pour constater l'évolution ;
- GeoSUR [16] a mis en place plusieurs services sur son infrastructure de données spatiales. On trouve un outil « Goutte d'eau » qui retrace le chemin d'une goutte d'eau théorique, d'un point sélectionné jusqu'au réseau d'eau dans lequel elle se jette ;
- toujours sur ARCORAMA [8], on trouve un service qui permet de faire des analyses spatiales en 3D. On peut ainsi savoir si un bâtiment se trouve à l'intérieur d'une zone de pollution, ou une conduite à l'intérieur d'une strate spécifique du sous-sol ;
- l'état de Bayern en Allemagne [17] a mis en place un outil permettant de visualiser un projet d'éolienne dans son environnement, mais aussi de faire des calculs d'intervisibilité. Mais ce calcul d'intervisibilité n'est pas seulement appliqué aux éoliennes, il s'applique aussi à des projets d'aménagement ou à des antennes télécom, comme le montre la **Figure 12**. En effet, l'antenne télécom, représentée par une épingle, n'est pas visible depuis les zones de rayons rouges, mais seulement depuis les zones de rayons verts ;

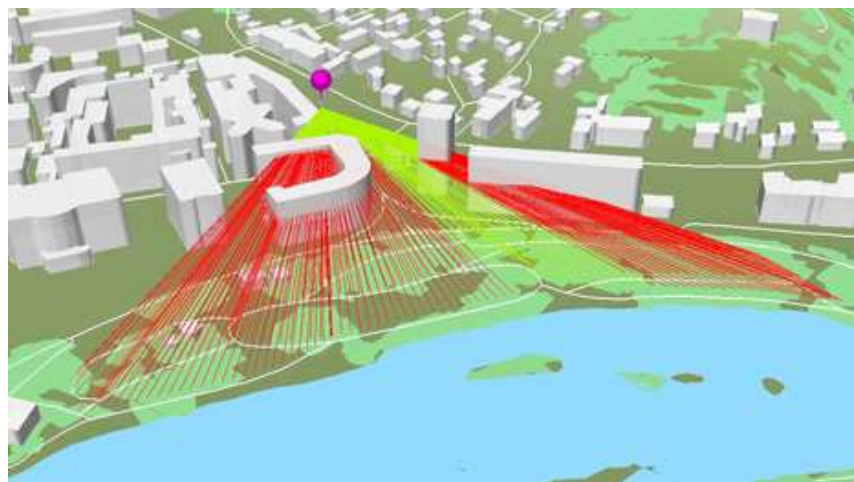


Figure 12: Visibilité d'une antenne télécom (source: <http://www.arcorama.fr/>)

- le calcul du potentiel solaire, ou calcul de rayonnement solaire [8] est un outil qui est utile pour connaître les bâtiments qui ont un meilleur potentiel pour poser des

panneaux photovoltaïques. Mais cela nous permet aussi de savoir où se situe l'ombre à un moment donné de l'année ;

- « la 3D [...] offre aussi la possibilité de modéliser les phénomènes naturels (inondations, vent, nuisances sonores, etc.) » d'après ALKHOURY ABDUL AHAAD [18]. Cette modélisation permet ainsi de gérer les risques naturels plus facilement. Comme le montre la **Figure 13**, on a une simulation d'inondation à la confluence de la Seine et de la Marne, ce qui permet de voir la population impactée, en jaune rouge et orange sur la **Figure 13** ;



Figure 13: Simulation d'une inondation à la confluence entre la Seine et la Marne (source : <http://www.arcgis.com/>)

- dans « l'enquête sur la 3D dans les collectivités territoriales », publiée en 2015 par l'AITF, des usages de 3D sont cités à titre d'exemples. Parmi ces derniers, on peut relever l'usage appliqué aux « Événements sportifs ». Cet outil permet de « calculer des paramètres, de planifier et de visualiser des parcours ».

I.3.3 Services d'exportation

Pour finir, nous avons des services qui permettent d'exporter des données brutes :

- le pays de Brest [19] a mis ses données 3D à disposition. Un service d'exportation des données 3D est alors disponible sur leur site internet. Il permet d'exporter le MNT, au format .dae ou .3ds, avec ses éléments bâtis, selon un quadrillage, comme le montre la **Figure 14**. Cela permet ainsi de l'ouvrir dans divers logiciels pour le réutiliser ;

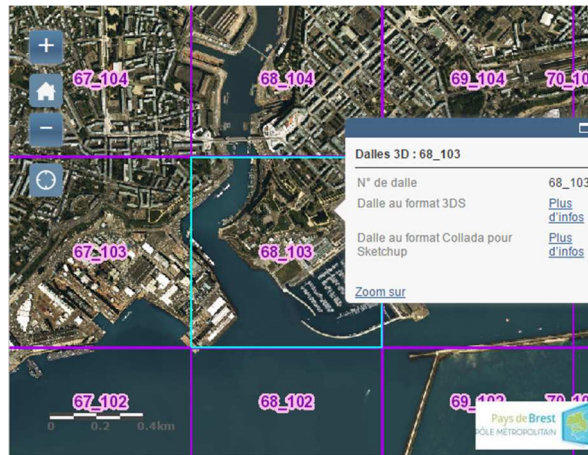


Figure 14: Service d'exportation du MNT du Pays de Brest (source: <https://geo.pays-de-brest.fr/>)

- la région de Murcia, en Espagne, quant à elle, a mis à disposition ses données LiDAR [20]. Sur le même principe que précédemment, on obtient cette fois-ci des données au format LAS qu'il faut ensuite traiter pour les utiliser ;
- le Grand Lyon diffuse ses données en OpenData sur son site internet, et sa maquette 3D en fait partie. Celle-ci est téléchargeable par commune ou par arrondissement, pour Lyon, au format CityGML ou .exe. Ce dernier est un applicatif qui permet de visualiser la maquette si nous ne disposons pas de logiciel compatible avec le CityGML.

En conclusion, les visualiseurs présents sur GéoBretagne ne permettent pas de visualiser la 3D, cependant des calculs 3D sont possibles sur le visualiseur mapfishapp. Mais de nombreux logiciels et visualiseurs, permettant de visualiser en 3D, sont disponibles sur le marché. Chacun est adapté à des besoins puisque l'on trouve des visualiseurs très simples, permettant seulement de visualiser des données 3D, mais aussi des visualiseurs, voire logiciels, plus complexes, permettant d'effectuer des calculs. On va ainsi trouver différents formats de stockage selon le degré de complexité du logiciel et des données. On trouve plusieurs méthodes d'acquisition des données, ce qui permet d'obtenir différents types de données et donc différents modes de restitution. Pour finir, nous avons également de nombreux services 3D, en ligne ou disponibles seulement sur ordinateur (intranet, SIG desktop), utilisant de la 3D. Ces services portent sur de l'utilisation en collectivités territoriales plus qu'au grand public, bien que certains services peuvent aussi intéresser le grand public. Tous ces services ont des niveaux d'utilisation différents. En effet, certains sont très simples à utiliser, comme le service de visualisation 3D d'une maquette, alors que d'autres requièrent des paramètres en entrée et des calculs, comme les services de simulation. Cependant, tous ces services peuvent être adaptés aux besoins de GéoBretagne.

Après avoir fait un état de l'art sur l'existant, les différentes technologies 3D et les services 3D web, nous allons étudier et définir les différents besoins afin de mettre en place des spécifications nécessaires au développement de services 3D pour les besoins de GéoBretagne.

II Etude et analyse des besoins

Pour mettre en œuvre une solution, nous avons étudié les besoins et les demandes des partenaires et des utilisateurs de GéoBretagne. Nous avons ensuite analysé les besoins afin de définir des spécifications.

II.1 Besoins des administrateurs de GéoBretagne

Les administrateurs de GéoBretagne ont exprimé divers besoins quant à la création de services 3D sur leur plateforme. D’abord, ces services doivent permettre aux utilisateurs de produire des usages grâce à la 3D, et non d’accéder à des résultats précalculés. Ces services doivent utiliser les visualiseurs actuels au maximum, georchestra, svviewer, mvviewer, pour éviter de multiplier les applications et permettre ainsi de visualiser l’ensemble des données, 2D et 3D sur un seul visualiseur ergonomique. De plus, les technologies utilisées doivent être compatibles avec la licence GNU GPL pour être utilisés sur les différents visualiseurs cités précédemment, et correspondre à la philosophie de GéoBretagne. Les applications devront aussi être publiées sur le dépôt Github, comme les visualiseurs actuels. Il faudra aussi privilégier les normes OGC afin de garantir l’interopérabilité des données et des services. Pour finir, il est essentiel que la visualisation soit possible sur tous les navigateurs (Firefox, Chrome, Internet Explorer, etc.) et tous les supports (Ordinateur, tablette, smartphone, etc.).

II.2 Besoins des utilisateurs et partenaires

II.2.1 Collecte des données à l’aide d’un sondage

Afin de connaître les besoins des partenaires et utilisateurs, nous avons réalisé un sondage. C’est la meilleure solution puisque cela nous permet de connaître les besoins de chacun sans les contacter individuellement. Nous avons pour cela posé diverses questions, sur leur utilisation des données 3D actuelles et futures comme le montre **l’Annexe 1**. Ce sondage a été publié sur le site internet de GéoBretagne et a été diffusé à plus de 500 personnes représentant les 133 partenaires. Nous avons collecté 117 réponses sur une durée d’un mois. Nous avons reçu des réponses très variées sur l’ensemble du sondage, comme le montre **l’Annexe 2**, que ce soit au niveau de l’usage de la 3D ou même au niveau de la provenance. Cependant, bien que de nombreuses personnes aient participé, il est regrettable que seulement 1,7% n’utilise pas les SIG dans leur travail ou personnellement. En effet, il aurait été intéressant d’avoir plus d’hétérogénéité sur ce critère afin de cibler le grand public, et ainsi avoir différents points de vue.

La première partie, concernant l’utilisation de la 3D, nous a permis d’approfondir l’état de l’art en découvrant de nouveaux logiciels, visualiseurs ou formats de stockage. Certains sont intéressants dans le cadre de l’étude puisqu’il s’agit de logiciels libres. Cela nous a également permis de voir l’utilisation de la 3D de chacun, et parfois dans des domaines bien précis. Pour finir, les questions portaient sur leurs besoins en termes de données et services 3D sur GéoBretagne. Ces deux questions nous permettent de cibler les besoins et les envies des partenaires et des utilisateurs de la plateforme. Comme nous pouvons voir sur la **Figure 15**,

65,8% utiliseraient les données 3D si GéoBretagne en mettait à disposition, et 32,5% ne savent pas mais pourraient potentiellement être intéressés selon les données et les services présents.

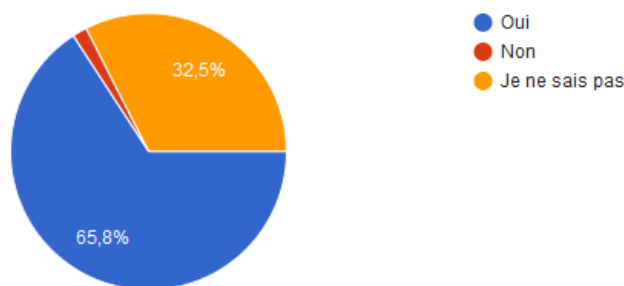


Figure 15: Réponse à la question : « Si GéoBretagne mettait des données complémentaires et des services 3D à disposition les utiliseriez-vous ? »

On peut voir ensuite sur la **Figure 16** que la majeure partie des répondants aimeraient voir un MNT de précision supérieure que ce qu'il y a actuellement sur GéoBretagne. On peut aussi relever les deux propositions suivantes qui concernent les données 2,5D de type MNE et MNS, mais aussi les données 3D qui servent à l'élaboration des maquettes numériques. Les propositions recueillant 0,9% de réponses correspondent aux suggestions des répondants.

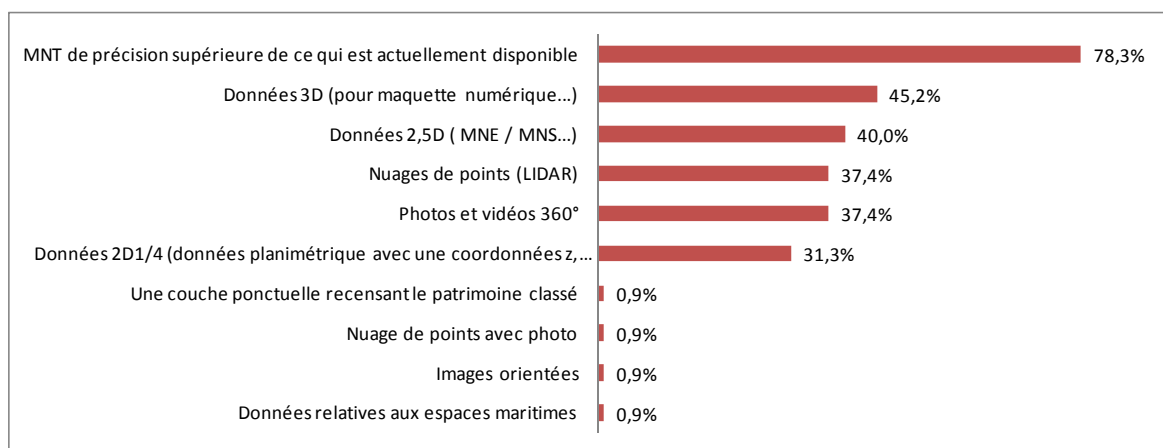


Figure 16: Réponse à la question : « Quelles données 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne? »

Concernant les services 3D, nous leur avons présenté 26 propositions, et quatre autres ont été ajoutées. On peut voir que certains ressortent plus fortement que d'autres. Nous avons décidé de retenir seulement ceux ou plus de 40% des répondants étaient intéressés. Ce critère de 40% a été choisi pour plusieurs raisons. D'abord, ce sondage représente seulement une partie infime des utilisateurs, c'est pourquoi nous n'avons pas seulement retenu les propositions supérieures à 50%, qui peuvent changer rapidement dès lors qu'une personne supplémentaire participe au sondage. De plus, cette tranche de 40% permet de mettre en avant environ 1/3 des services 3D proposés. Pour finir, le pourcentage maximum étant de 60,9%, cela permet de réaliser des tranches d'environ 20% pour classer les différents services proposés. On peut alors relever les services qui intéressent le plus les utilisateurs sur la **Figure 17**.



Figure 17 : Réponse à la question : « Quels services web 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne ? »

II.2.2 Rencontre avec les partenaires et utilisateurs

Certains partenaires de GéoBretagne utilisent déjà la 3D dans la métropole ou le pays dans lequel ils travaillent. Nous nous sommes entretenus avec eux afin de connaître leur utilisation actuelle et leurs besoins.

II.2.2.1 Rennes Métropole

Nous avons rencontré Christelle Gibon, responsable des données générales et 3D à Rennes Métropole. Rennes Métropole a actuellement une maquette 3D, créée à partir de Rhinoceros et visualisée sur 3DExperienCity de Dassault System. Elle sert principalement pour la médiation urbaine et l'aide à la décision pour les élus et les habitants concernés par les projets. Les données sont actuellement stockées dans deux formats différents : le CityGML, pour les volumes ; dans une base de données PostGIS pour les informations 2D et 3D. Les besoins de Rennes Métropole sont ainsi plus portés sur la visualisation, puisque Christelle Gibon nous a fait part de sa volonté de visualiser des données 3D sur la plateforme geOrchestra, mais aussi de mettre en ligne une maquette 3D en internet/externe sans en dégrader la qualité.

II.2.2.2 Pays de Guingamp

Nous avons interrogé Gwendal Bocher, responsable SIG au Pays de Guingamp. Le Pays de Guingamp est doté d'un drone, ce qui lui permet d'acquérir des photos à une meilleure résolution que les campagnes réalisées par avion. A l'aide d'un traitement, il récupère ensuite le fichier de points, qui lui sert de base de travail pour certains livrables, comme la modélisation 3D. Les données sont stockées dans plusieurs formats : geoTIFF, LAS et dans une base de données PostGIS. Gwendal Bocher nous a aussi exprimé son besoin d'avoir des points de référence afin de caler les différents levés.

II.2.2.3 Brest Métropole

Nous nous sommes entretenus avec Elisabeth Naja, géomaticienne au service SIG de Brest Métropole. Le pays de Brest est doté d'une maquette numérique créée à partir d'ESRI et de FME. Cette maquette n'est pas visualisable sur internet, mais on peut télécharger des dalles en format DAE ou 3DS. Cette maquette sert principalement à visualiser et intégrer les futurs projets urbains. Les données sont actuellement stockées dans les formats shapefile 3D, DAE, 3DS et prochainement en CityGML. Les besoins de Brest Métropole concernent principalement les outils 3D, comme les calculs, les profils, mais aussi l'interpolation de données 2D sur un MNT ou MNE afin de visualiser des données plus facilement.

II.2.2.4 Université et recherche

Parmi les étudiants, nous avons échangé avec Thibaut Peres, étudiant en Master 2 « Géomatique – Image » à l'université Rennes 2 et à l'école d'Ingénieur Agrocampus – Ouest, et en Master 2 « Archéologie des périodes historiques » à l'université de Rennes 2. Très intéressé par l'archéologie, il réalise son stage au CNRS de Rennes sur l'usage de la

téledétection et du LiDAR pour l'archéologie. Cela nous a permis d'analyser les besoins et les possibilités concernant le LiDAR. Il a ainsi évoqué le besoin de centraliser les données LiDAR sur un serveur afin de les visualiser, mais aussi de les interroger et de les traiter puisque ce sont des données lourdes. Il est préférable de procéder de cette façon, puisque les ordinateurs ne sont pas toujours assez puissants pour stocker et traiter les données en même temps. De plus, il serait intéressant d'avoir un outil fonctionnant sur le même principe que l'outil profil en long de geOrchestra, mais appliqué aux nuages de points LiDAR, où l'on pourrait choisir la largeur du profil en plus de sa longueur.

Nous avons également assisté aux synthèses des travaux des étudiants du master Géomatique - Image de l'Agrocampus. Parmi les différentes présentations, nous pouvons retenir celle de trois étudiants, qui ont développé un calcul d'intervisibilité exposé sur le web via WPS.

II.3 Analyse des besoins

Suite au sondage et aux différentes rencontres, nous avons pu définir les besoins des utilisateurs, que ce soit en termes de données, de services et de technologies.

II.3.1 Spécifications des données

Concernant les données 3D, les différents partenaires et utilisateurs rencontrés n'ont pas fait de demande particulière. En effet, ils ont déjà acquis des données 3D ou détiennent les moyens techniques de les acquérir. Ainsi, nous allons prendre en compte les résultats du sondage afin de déterminer les données que nous pouvons mettre à disposition sur la plateforme. Dans un premier temps, nous proposerons les données existantes sur le territoire breton, définies dans l'état de l'art. Ensuite, les données manquantes pourraient être disponibles à la suite d'acquisitions. Nous avons établi un tableau de précision et de pas de grille, en se référant aux données existantes sur d'autres régions ou départements. On trouve :

	Précision	Pas de grille
Maquette 3D texturée	métrique	1 m
MNT de précision	0,5 m	2 m
MNE/MNS	0,8 m	2 m

Tableau 2 : Précision et pas de la grille des données 3D qui pourraient être acquises

II.3.2 Spécifications des fonctionnalités du système

Concernant les services 3D, nous allons prendre en considération de façon plus importante les résultats du sondage puisqu'ils permettront de satisfaire une plus grande partie des utilisateurs. De plus, ces services 3D web sont très utiles pour les partenaires n'ayant pas de SIG dans leur collectivité, ou dans leur service. Comme ils utilisent généralement GéoBretagne, cela leur permettrait ainsi d'accéder à des fonctionnalités plus avancées sur la plateforme. Le but est de mettre en place des applications et des addons permettant d'exploiter les données 3D. Les

addons seront disponibles sur l'IDS geOrchestra. Les applications quant à elles le seront dans l'onglet « applications » du site internet de Géobretagne. Ces applications et ces addons ne sont pas tous implémentés, ils seront développés et publiés selon les besoins et leur réalisation. Nous avons classé les différents addons en applications selon le type de service :

- le service d'exportation est une application permettant de télécharger les données LiDAR et le MNT, à partir de liens répertoriés dans les couches ;
- le service de calcul 3D est un addon permettant d'effectuer divers calculs utilisant les MNT présents sur la plateforme. Cet addon est composé de 7 outils de calculs :
 - o calculs de distance : permet de mesurer la distance horizontale, la distance inclinée et la dénivelée entre deux points ;
 - o carte des pentes : permet de générer des cartes de pentes ;
 - o calcul du chemin d'une goutte d'eau : permet de retracer le chemin d'une goutte d'eau théorique vers le réseau d'eau dans lequel elle se jette ;
 - o calculs de courbes de niveau : permet de calculer et d'afficher les courbes de niveau ;
 - o calcul de différence de volumes : permet de mettre en évidence le déblai et le remblai, entre deux MNT, ainsi que les nouveaux projets ;
 - o calculs de profils en long : permet de générer un profil en long, selon différentes options (profil avec bâtiment, profil d'itinéraire, profil de cours d'eau, profil de nuages de points, etc.) ;
 - o calcul d'intervisibilité : permet de calculer si un projet ponctuel est visible ou non depuis une zone.
- le service de visualisation 3D comprend plusieurs applications, selon le degré de visualisation :
 - o l'application de visualisation permet de juxtaposer la vue aérienne en 3D et le fond de plan, tout en se déplaçant simultanément ;
 - o le visualiseur 3D, permet de visualiser l'ensemble des couches en 3D, et d'effectuer des calculs qui nécessitent une visualisation 3D :
 - simulation de risques naturels (inondations, pollutions, vent, etc.) ;
 - simulation d'ensoleillement pour évaluer le potentiel de poses de panneaux solaires et visualisation d'ombres portées ;
 - simulation de végétation, de bruits, etc ;
 - visualisation et interrogation de PLU en 3D ;
 - analyses spatiales en 3D ;
 - représentation des bâtiments selon des critères ;
 - o l'application mobile GéoBretagne permet d'accéder à la réalité augmentée à partir de son téléphone.

II.3.3 Spécifications techniques

Concernant les spécifications techniques, nous en avons mis plusieurs en évidence. D'abord nous avons des contraintes au niveau des logiciels. En effet les logiciels libres seront privilégiés, et plus particulièrement mapfishapp, le mvviewer, développé par la Région Bretagne, et le svviewer, développé par la DREAL Bretagne. Ainsi, les bibliothèques utilisées pour visualiser et réaliser l'ensemble des calculs WPS devront également être libres et

compatibles avec la licence GNU GPL des visualiseurs utilisés. On pourra donc utiliser des bibliothèques comme Cesium, GDAL, GRASS, SAGA, etc. Pour finir, Les addons et/ou applications créés et/ou modifiés devront être publiés sur le service web d'hébergement Github.

Maintenant que nous avons étudié les besoins et défini les spécifications, nous allons pouvoir développer des prototypes et des solutions pour développer les différents types de services 3D définis dans les spécifications.

III Mise en œuvre de solutions et prototypes

Nous avons d’abord testé quelques bibliothèques et logiciels libres utiles afin d’établir un tableau comparatif et de sélectionner plus facilement les technologies qui nous correspondent le mieux. Puis, nous avons établi des prototypes et des solutions afin de mettre en œuvre les différents services 3D établis précédemment.

III.1 Etude et tests des technologies 3D libres

Nous avons étudié les différents logiciels libres correspondant à la mise en place des besoins évoqués précédemment. Nous avons étudié des visualiseurs 3D, mais également des plateformes 2D qui permettent d’exécuter des calculs 3D.

III.1.1 Cesium

Nous avons testé les bibliothèques Cesium et ol3-Cesium 3D. Des formats de points spécifiques sont demandés pour importer les données. Le premier est .b3dm (Batched 3D Model), il sert à stocker les différentes tuiles de modèles 3D. Mais à ce jour, aucun logiciel ou programme ne permet de convertir un modèle 3D dans ce format. Le deuxième format est .pnts, il sert à stocker les points LiDAR. Un programme a été développé fin mars par un particulier afin de convertir des données .las dans ce format. Ce programme a été développé sous Ubuntu 14.04, nous l’avons alors testé sous une machine virtuelle de même distribution. Nous avons ainsi pu convertir les données .las en données .pnts et les visualiser dans Cesium.

III.1.2 mapfishapp / mviewer / svviewer

Nous avons testé geOrchestra, IDS libre créé par GéoBretagne, qui ne permet pas de visualiser de la 3D. Les services de calculs 3D évoqués précédemment n’ont pas besoin d’être visualisés en 3D. En effet, ils requièrent seulement du calcul à partir de données raster et/ou vecteur. Ces calculs peuvent être faits à partir de GRASS, GDAL et des bibliothèques pythons. On peut ainsi utiliser des fonctions déjà existantes, et afficher les données voulues. Nous avons aussi testé le visualiseur mviewer qui permet de visualiser des données 2D. Il possède quelques avantages comparé au visualiseur de geOrchestra. Le mviewer utilise la bibliothèque OpenLayers 3, compatible avec la bibliothèque ol3-Cesium, contrairement à OpenLayers 2. De plus, il a la possibilité de filtrer les informations à afficher, lors de la sélection d’un élément, grâce à des fichiers .ftl.

III.1.3 Potree

Ce logiciel comprend plusieurs outils permettant d’effectuer des calculs de distance, de surface, d’aire et même de profil en long. Nous avons testé ce logiciel avec des données LiDAR. Malheureusement ces données n’étant pas colorées, nous avons un nuage de points noir, illisible. Nous avons cependant essayé les fonctionnalités, citées précédemment, à partir de la démonstration disponible à l’adresse [21].

III.1.4 iTowns

Nous avons testé la version 1 du logiciel libre iTowns, développé par Omlandia et l'IGN. Nous avons testé ce logiciel à partir des données fournies, n'ayant pas de données compatibles à notre disposition. Actuellement une version 2 est en cours de développement, elle permet de visualiser les données sous la forme d'un globe. L'objectif de cette version est aussi de visualiser les données en immersif lorsque l'on est à un certain niveau de zoom. Elle reprendra ainsi la version 1 d'iTown. iTowns utilise le logiciel potree pour gérer et importer les points.

III.1.5 Comparaison des technologies 3D

Nous avons réalisé un tableau de comparaison des logiciels afin de pouvoir mettre en évidence rapidement le logiciel qui correspond le mieux aux critères, selon les différents besoins mis en évidence précédemment. Nous avons utilisé les critères établis dans les spécifications.

	mapfishapp	Potree	Cesium	iTown
Visualisation maquette 3D	Non	Non	En développement	Oui
Visualisation nuages de points	Non	Oui	Oui	Oui
Calculs 3D	Oui	Oui	Non	Non
Import de bibliothèques	Oui	Non	Oui	Non

Tableau 3 : Comparatif des solutions 3D

Maintenant que nous avons connaissance des besoins des différents utilisateurs de la plateforme, et que nous avons comparé les différentes technologies 3D, nous allons pouvoir mettre en place des solutions afin de proposer des services 3D web aux différents utilisateurs de GéoBretagne.

III.2 Services 3D implémentés

III.2.1 Export des données

III.2.1.1 Choix des dalles

Le service d'export des données permet aux utilisateurs de la plateforme de télécharger deux types de données 3D : le MNT ou les fichiers LiDAR. Ces deux données sont celles actuellement disponibles sur GéoBretagne, cependant, elles ne sont pas découpées en dalles

et non téléchargeables. Ainsi, nous avons découpé le territoire breton en dalles. Nous avons choisi de limiter le poids de nos dalles à 300 Mo puisque c'est le poids maximum des fichiers que nous pouvons télécharger librement à la Région. Afin de déterminer la largeur des dalles, nous sommes partis des données 3D de Brest Métropole mises à disposition sur le site internet. Brest Métropole a choisi de mettre en place des dalles de 820 m x 820 m, pour une superficie d'environ 385 km². La superficie de la Bretagne étant de 27 208 km², nous avons décidé de partir sur une dimension de dalles plus grande afin de couvrir le territoire avec moins de dalles. Pour cela, nous avons choisi 16 dalles contigües afin de relever leur taille. Nous arrivons ainsi à une taille d'environ 75 Mo pour une dalle de largeur de 3 280 m x 3 280 m. Si l'on se reporte à la superficie de la Bretagne, nous obtenons environ 2530 dalles. Nous avons ainsi voulu faire diminuer ce chiffre en regardant jusqu'où nous pouvions aller. A la suite de nos calculs, nous avons obtenu une taille d'environ 300 Mo pour une dalle d'environ 6 km x 6 km. Nous n'avons pas retenu cette taille puisque nous sommes partis d'un échantillon de données dans une zone rurale, et que ce poids est différent selon les dalles. Nous sommes alors partis sur une dalle de 5 km x 5 km. Cela nous donne environ 1290 dalles sur le territoire. Pour les métropoles ayant une maquette plus détaillée, comme Rennes et Brest, nous avons opté pour un redimensionnement des dalles afin que le poids n'excède pas 300 Mo. Nous avons choisi de garder les mêmes dalles pour les données LiDAR, cela permet de pouvoir combiner les deux, tout en gardant la même emprise. Cependant, si nous mettons à disposition des données plus précises que celles actuellement disponibles sur Brest Métropole, la taille des fichiers 3D va augmenter avec la précision. Il faudra alors rééchantillonner les dalles pour diminuer leur taille et ainsi leur poids.

	Test 1	Test 2	Test 3
Taille de la dalle	3,28 km	6 km	5 km
Poids moyen de la dalle	75 Mo	300 Mo	210 Mo
Nombre total de dalle	3451	924	1309

Tableau 4 : gabarit et nombre de dalles

III.2.1.2 Choix de l'outil

Nous avons choisi d'utiliser le mviewer afin de visualiser ces couches et de télécharger les données. Contrairement au svviewer, le mviewer est optimisé pour un affichage multi couches, et permet de choisir les couches à afficher grâce à un sélecteur de couches, comme on peut le voir sur la **Figure 18**. Nous n'avons pas retenu mapfishapp, puisqu'il ne prend pas en compte les fichiers .ftl. La mise en forme des fiches d'information est modifiée pour afficher les informations sous forme de tableau.

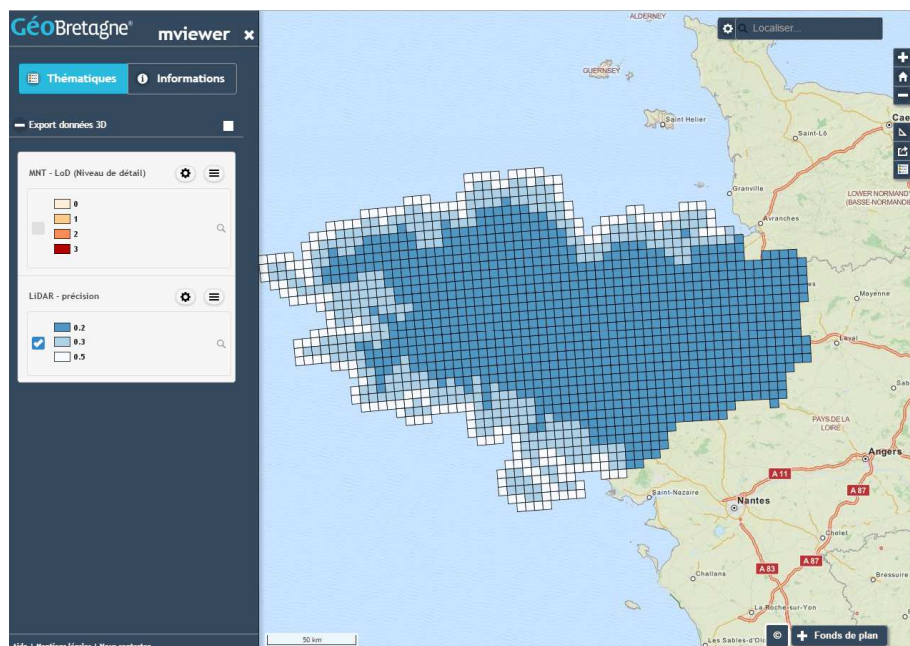


Figure 18 : Visualisation de la couche d'export des données LiDAR dans le mviewer

Ainsi, nous avons choisi le mviewer pour développer ce service d'exportation, auquel nous avons ajouté les deux couches, créées précédemment, qui permettent d'accéder au lien de téléchargement des données. Nous avons catégorisé la couche du MNT en LoD, afin de savoir quel est le niveau de détail de la dalle que l'on sélectionne. Concernant la couche LiDAR, nous l'avons catégorisée selon sa précision altimétrique, puisque c'est généralement une des composantes qui nous intéresse lorsque l'on travaille avec des données LiDAR. Comme nous pouvons le voir sur la **Figure 19**, nous pouvons passer d'une donnée à l'autre grâce aux onglets situés au-dessus du lien de téléchargement. Grâce aux fichiers .ftl, les informations des différents champs des couches sont plus lisibles, puisque nous affichons les données utiles, et le lien de téléchargement des données est direct.

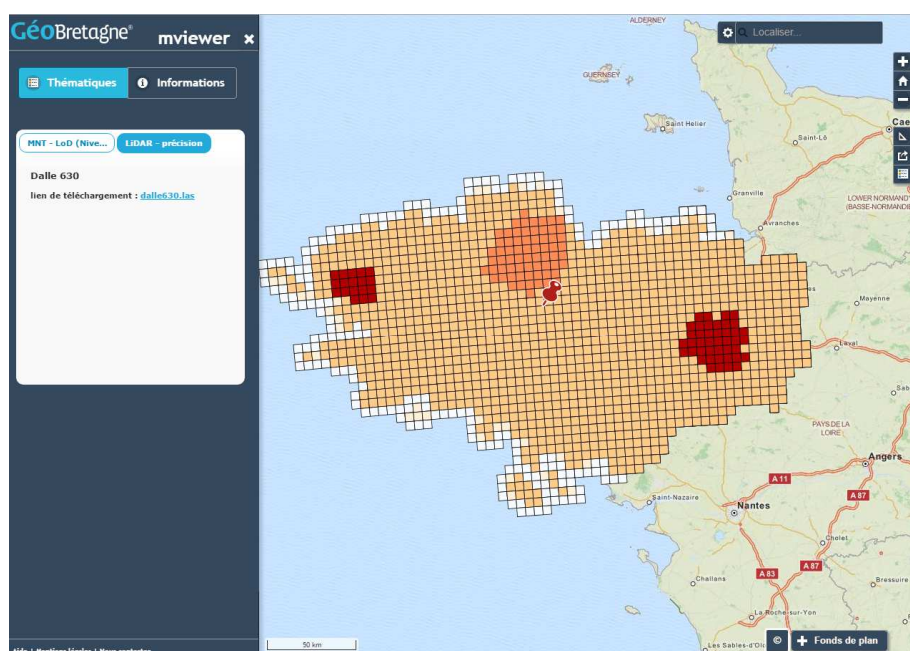


Figure 19 : Exemple de fiche d'exportation des données MNT ou LiDAR sur le mviewer

III.2.1.3 Choix des formats d'export

Ce service de téléchargement va permettre aux utilisateurs de télécharger le MNT en format .dae et .3ds pour ensuite les réutiliser plus facilement, pour leur usage personnel ou professionnel. L'avantage de ces formats de données est qu'ils sont utilisables dans plusieurs logiciels 3D. En effet, le CityGML ne peut pas être lu par tous les logiciels 3D. Concernant les données LiDAR, le .las étant un des formats le plus utilisé, nous avons décidé de conserver ce format pour le téléchargement des données.

III.2.2 Calculs 3D

III.2.2.1 Ergonomie

Le service de calculs en trois dimensions permet aux utilisateurs de pouvoir calculer divers éléments en prenant en compte la composante z. Pour cela, nous avons proposé un add-on, disponible sur mapfishapp, qui regroupe l'ensemble des outils, correspondant aux besoins exprimés par les utilisateurs lors du sondage, évoqués dans la deuxième partie. Avoir un seul outil permet d'avoir une installation plus facile et pratique de cette extension. De plus, cela permet d'utiliser certaines parties de code pour plusieurs outils. Nous avons décidé de garder mapfishapp puisque la plupart des calculs n'ont pas besoin d'être visualisés en 3D. Cependant, ces calculs pourront être mis en place sur un outil permettant de visualiser des données 3D par la suite. Nous avons donc créé un outil permettant d'effectuer nos calculs, illustré par les **Figures 20 et 21**. Nous devons d'abord sélectionner le calcul que nous voulons faire à partir du menu déroulant. Grâce au menu déroulant situé au-dessous, nous pouvons choisir le MNT sur lequel nous voulons faire les calculs. Si le calcul le nécessite, nous pouvons choisir les différentes options, comme l'intervalle entre les courbes de niveau, la distance d'un calcul de visibilité etc. Ces champs se modifient de façon dynamique puisque tous les calculs ne nécessitent pas les mêmes informations en entrée. Pour finir, nous avons les icônes de sélection, qui nous permettent de déterminer la zone d'étude, ou le(s) point(s), nécessaire(s) au calcul.

Figure 20 : Outil de sélection des calculs – exemple de courbes de niveau

Figure 21 : Outil de sélection des calculs – exemple de distances 3D

III.2.2.2 Calculs implémentés

Concernant la sélection des calculs, nous avons sept options :

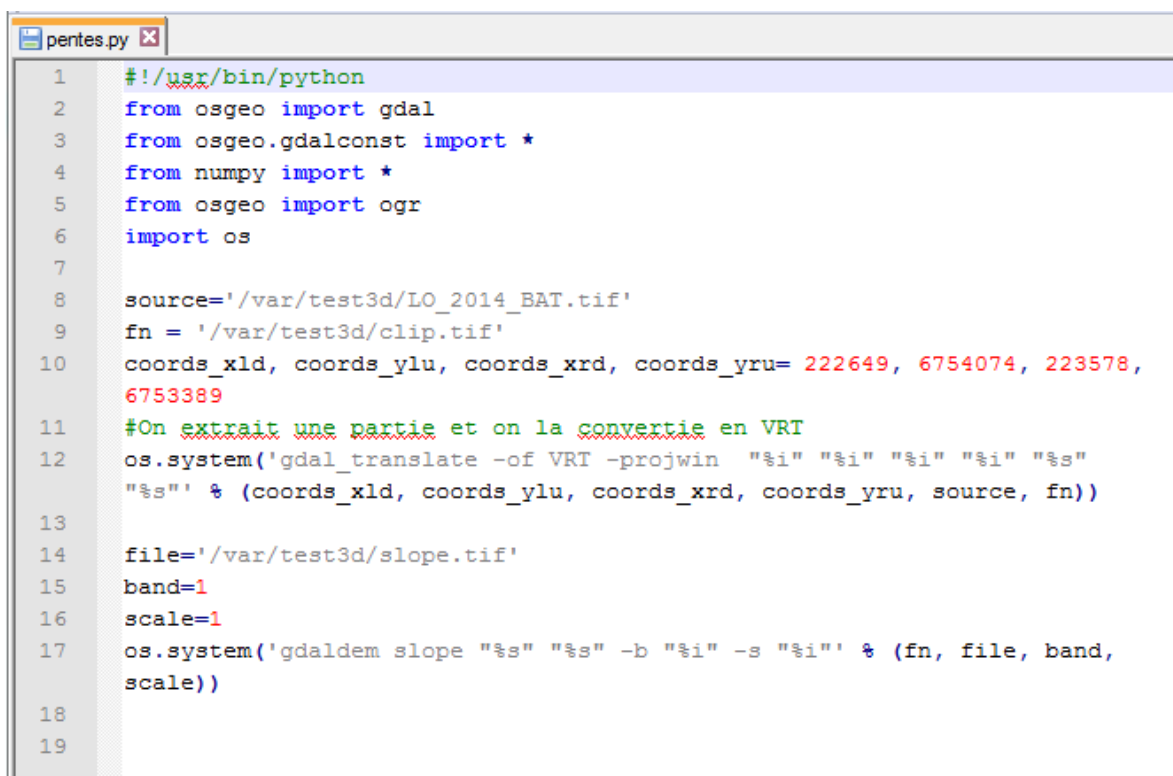
- l’outil de calculs de distance permet de mesurer la distance inclinée et la dénivelée entre deux points, en plus de la distance horizontale actuellement présente sur mapfishapp. Bien que l’on ne puisse visualiser cette distance en 3D comme l’a fait le canton d’Appenzell Ausserrhoden [15], le fait de connaître les altitudes nous permet de calculer ces valeurs ;
- l’outil permettant de générer des cartes de pentes fonctionne grâce à la bibliothèque GDAL. Nous récupérons les informations nécessaires au calcul (zone, échelle, fichier de sortie) ;
- l’outil de calculs du trajet d’une goutte d’eau permet de retracer le chemin d’une goutte d’eau théorique vers le réseau d’eau dans lequel elle se jette. Il suffit de sélectionner un point, sur le terrain, et le calcul se fait à partir des altitudes et des pentes ;
- l’outil qui calcule les courbes de niveau utilise aussi la bibliothèque GDAL. Nous récupérons de la même manière que pour le calcul des pentes, les informations nécessaires au calcul (zone, intervalle, nom de l’attribut, fichier de sortie) ;
- l’outil qui calcule la différence de volumes se fait à l’aide de la bibliothèque GRASS. Les éléments sont récupérés comme pour les outils précédents (zone, fichier de comparaison, intervalle) ;
- l’outil de profil en long est déjà présent sur mapfishapp. Nous avons décidé de déplacer l’addon profil en long dans cet addon afin de bénéficier des avantages évoqués précédemment. Nous reprenons ainsi l’outil développé, mais nous ajoutons une option qui permet de sélectionner le mode de profil (profil simple, profil avec bâtiment, profil d’itinéraire, profil de cours d’eau, profil de nuages de points, etc.) ;
- l’outil de visibilité de points permet de calculer si un projet ponctuel est visible ou non. Les données en entrée nécessaires à cet outil sont : la distance autour de laquelle

on veut voir la visibilité du projet et la hauteur du projet. Les étudiants d'Agrocampus ont réalisé un service WPS lors de projets. Ainsi nous pouvons réutiliser leur programme afin d'implémenter ce service.

III.2.2.3 Détail des technologies employées et des scripts

Nous avons expérimenté deux outils sur les sept présentés ci-dessus. Pour cela, nous avons seulement réalisé les scripts python côté serveur, et non les scripts client côté mapfishapp. Nous avons ainsi testé la génération des cartes de pentes et l'extraction des courbes de niveau à l'aide de la bibliothèque GDAL.

Nous avons commencé par le script permettant de générer des cartes de pentes. Comme nous pouvons le voir sur la **Figure 22**, nous avons d'abord utilisé la fonction *gdal_translate*, qui permet de sélectionner seulement la portion d'image que l'on veut, et de convertir cette dernière en format virtuel. Nous pouvons voir à la ligne 12 de notre script que nous l'appelons à partir de la fonction système. En effet, il n'existe pas de commande python *gdal.Translate*, sur les versions GDAL inférieure à 2.1. Ensuite, nous avons utilisé la commande *gdaldem slope* qui calcule les pentes. Cette commande est utilisée de la même façon que la commande précédente, puisqu'il n'existe pas de commande correspondant à ce calcul dans la bibliothèque *gdal.py*. Concernant les paramètres en entrée, nous les avons ici définis dans le script python, mais lors de l'implémentation sur mapfishapp, ces informations seront fournies par l'utilisateur.



```
1  #!/usr/bin/python
2  from osgeo import gdal
3  from osgeo.gdalconst import *
4  from numpy import *
5  from osgeo import ogr
6  import os
7
8  source='/var/test3d/LO_2014_BAT.tif'
9  fn = '/var/test3d/clip.tif'
10 coords_xld, coords_ylu, coords_xrd, coords_yru= 222649, 6754074, 223578,
6753389
11 #On extrait une partie et on la convertie en VRT
12 os.system('gdal_translate -of VRT -projwin "%i" "%i" "%i" "%i" "%s"
"%s" % (coords_xld, coords_ylu, coords_xrd, coords_yru, source, fn))
13
14 file='/var/test3d/slope.tif'
15 band=1
16 scale=1
17 os.system('gdaldem slope "%s" "%s" -b "%i" -s "%i" % (fn, file, band,
scale))
18
19
```

Figure 22 : Script python permettant de générer une carte de pentes

Pour calculer les courbes de niveau, nous utilisons également la commande *gdal_translate* pour sélectionner la portion d'image à convertir, comme nous pouvons le voir à la ligne 19 de la **Figure 23**. Ensuite, nous créons notre fichier shapefile. Pour cela, nous le créons à l'aide de la commande *CreateLayer*, de la bibliothèque OGR. Pour utiliser cette commande, il faut au préalable définir l'emplacement du fichier et le type de fichier. Ces commandes sont réalisées aux lignes 21 à 23 du script. Ensuite, nous avons défini nos champs à l'aide de la fonction *ogr.FieldDefn*. Comme nous pouvons le voir aux lignes 25 à 28 de la **Figure 23**, nous en avons créés deux. Le premier est l'identifiant de la ligne, quant au second il correspond à l'altitude de la courbe de niveau. Avant d'exécuter le calcul, nous ouvrons notre image dans python à l'aide de la commande *gdal.Open*, puis nous utilisons la commande *GetRasterBand*, de la bibliothèque GDAL, pour récupérer la bande qui contient la valeur de l'altitude. Ces deux commandes sont situées aux lignes 30 et 31 de la **Figure 23**. Pour finir, nous utilisons la commande *gdal.ContourGenerate*, qui permet de calculer des contours selon un intervalle. Contrairement aux fonctions *gdal_translate* et *gdaldem slope*, utilisées précédemment, cette fonction provient de la bibliothèque *gdal.py*. Elle est ainsi utilisable directement dans notre script python. Comme nous pouvons le voir à la ligne 34 de la **Figure 23**, il faut entrer plusieurs paramètres en entrée :

- bande : bande qui contient la valeur de l'altitude. Ici nous l'avons récupérée précédemment ;
- intervalle : intervalle séparant les courbes de niveau ;
- base : altitude de départ ;
- valeurs fixées : altitudes des courbes de niveau que nous souhaitons afficher ;
- utilisation des valeurs nulles : on met une valeur pour autoriser l'utilisation des NoData ;
- valeur des NoData : valeur des NoData du fichier origine ;
- couche shapefile : nom de la couche créée auparavant pour enregistrer les données
- identifier « ID » : index de l'ID ;
- odentifiant Elévation : index de l'Elévation.


```

courbes_niveaux.py x
1  #!/usr/bin/python
2  from osgeo import gdal
3  from osgeo.gdalconst import *
4  from numpy import *
5  from osgeo import ogr
6  import os
7
8  try:
9      os.remove('/var/test3d/contour3.shp')
10     os.remove('/var/test3d/contour3.dbf')
11     os.remove('/var/test3d/contour3.shx')
12 except:
13     pass
14
15 source='/var/test3d/LO_2014_BAT.tif'
16 fn = '/var/test3d/clip3.tif'
17 coords_xld, coords_yld, coords_xrd, coords_yru= 222649, 6754074, 223578
18 , 6753389
19 #On extrait une partie et on la convertie en VRT
20 os.system('gdal_translate -of VRT -projwin "%i" "%i" "%i" "%i" "%s"
21 "%s" % (coords_xld, coords_yld, coords_xrd, coords_yru, source, fn))
22
23 dst_filename="/var/test3d/"
24 ogr_ds = ogr.GetDriverByName("ESRI Shapefile").CreateDataSource(
25 dst_filename)
26 contour_shp = ogr_ds.CreateLayer('contour3')
27
28 field_defn = ogr.FieldDefn("ID", ogr.OFTInteger)
29 contour_shp.CreateField(field_defn)
30 field_defn = ogr.FieldDefn("elevation", ogr.OFTReal)
31 contour_shp.CreateField(field_defn)
32
33 fn = gdal.Open (fn, GA_ReadOnly)
34 in1 = fn.GetRasterBand(1)
35
36 #Generate Contourlines
37 gdal.ContourGenerate(in1, 5, 0, [], -1, 9999, contour_shp, 0, 1)
38 ogr_ds = None
39 del ogr_ds
40

```

Figure 23 : Script python permettant de calculer des courbes de niveau

L'avantage de ce service de calculs 3D est qu'il permet de rester sur mapfishapp, puisque nous avons seulement besoin des coordonnées en 3D et non de visualiser. Cela fonctionne ainsi sur le même principe que les addons des bassins versants et des profils en long, déjà présents sur GéoBretagne, qui utilisent seulement le MNT.

III.2.3 Visualisation 3D

Ce service nous permet de visualiser les données sur un globe 3D. mapfishapp étant sous openlayers 2, nous avons importé la bibliothèque OL3-Cesium sous svviewer et mvviewer afin de visualiser nos données sous Cesium.

III.2.3.1 Svviewer

Nous avons dans un premier temps ajouté la bibliothèque ol3-cesium sur le svviewer. Pour cela, nous avons ajouté un bouton qui nous permet de passer de la 2D à la 3D, comme le montre la **Figure 24**, grâce à la fonction `ol3d.setEnabled(!ol3d.getEnabled())`. Cette fonction permet de modifier la variable `ol3d` afin d'activer ou non la 3D. Nous avons également ajouté un bouton qui permet de se réorienter au nord, visible sur la **Figure 23**, puisque en passant de la 3D à la 2D, l'orientation peut changer. Nous avons modifié les fonds de plan par défaut, en remplaçant les liens MapQuest par des liens WMS et TMS créés à partir des données de GéoBretagne. Nous avons utilisé seulement des liens TMS et WMS puisque nous ne pouvons pas afficher du WMTS dans Cesium.

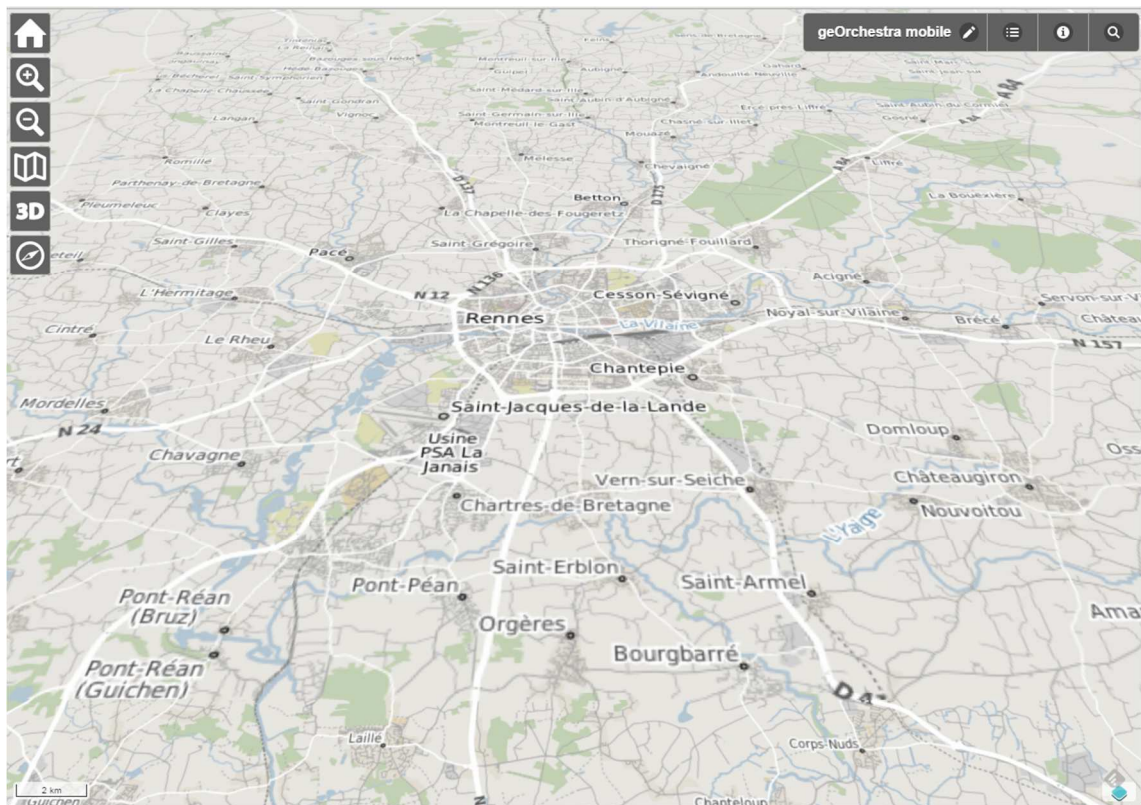


Figure 24 : Visualisation 3D sur le svviewer

III.2.3.2 Mviewer

Dans un second temps, nous avons ajouté ol3-cesium sur le mvviewer, qui permet un affichage de couches prédéfinies, ainsi que la visualisation de fichiers vecteurs, au format JSON. Ces fichiers vecteurs permettent ainsi d'être visualisés également en 3D, à l'aide d'un style prédéfini, et non seulement en 2D. Sur la **Figure 25**, nous avons choisi de mettre les

arrêts et les lignes du transport régional breton. On remarque, lors de l'inclinaison en 3D, que les icones sont visibles en 3D, mais on aperçoit également les contours du globe. Actuellement, les lignes ne sont pas en 3D puisqu'il faut ajouter des altitudes, car Cesium ne permet pas la projection des lignes sur une surface 3D. Nous avons également ajouté les mêmes commandes que sur le svviewer, le bouton permettant de passer en 3D et celui permettant de se réorienter au nord.

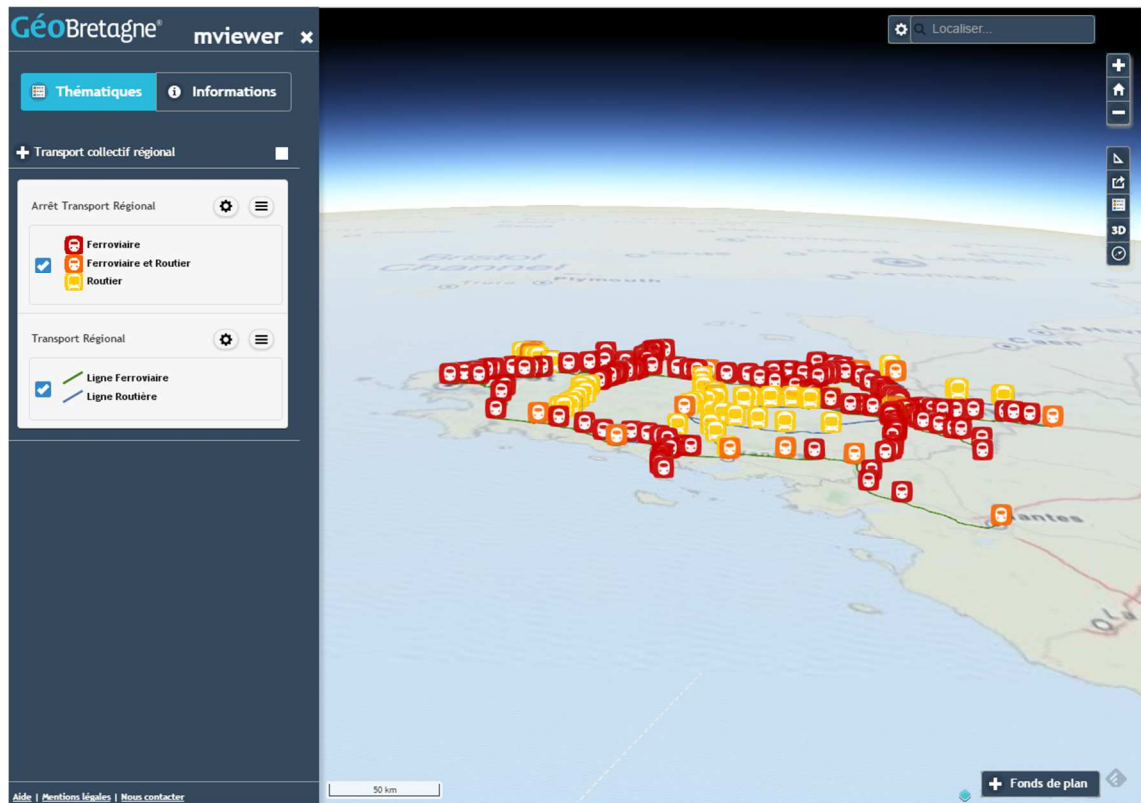


Figure 25 : Visualisation 3D des arrêts et lignes de transport régional

III.2.3.3 Comparaison mviewer / svviewer

Bien que le fonctionnement de Cesium sous le svviewer et le mviewer soit identique, la solution du mviewer est à privilégier par rapport au svviewer. En effet, il est actuellement difficile de visualiser des couches 2D en 3D puisqu'on ne peut pas les projeter. Ainsi, le fait d'utiliser le mviewer permet d'avoir un sélecteur de couches et ainsi publier seulement celles qui sont compatibles avec la 3D.

Cesium nous permet aussi d'importer des points LiDAR au format .pnts. Pour convertir les points .las en .pnts, il faut exécuter le programme Cesium pnt Generator testé précédemment. Ce programme va donc convertir les points dans le format voulu, qui permettra de les visualiser sur Cesium. La visualisation de données LiDAR nécessite l'utilisation de serveurs très puissants, car Cesium est une bibliothèque demandant beaucoup de ressources, mais également d'ordinateur puissant.

Ainsi, la visualisation des points LiDAR peut se faire directement sur le svviewer, puisqu'on ne veut pas forcément visualiser des couches par-dessus. Cependant, il est intéressant d'avoir des outils de calculs sur la visualisation de données LiDAR, qu'on ne retrouve pas sur le svviewer.

III.2.3.4 Service de visualisation 3D avec vue aérienne

Ce service permet de juxtaposer la vue aérienne 3D et la vue aérienne 2D, ou le plan 2D. Sur la vue 2D, nous pouvons voir un œil qui représente notre position sur la vue 3D. Nous pouvons également voir un point rouge qui représente l'emplacement du centre de la vue 3D. Nous avons choisi d'utiliser le sviewer pour réaliser cette solution car il est développé avec OpenLayers 3, qui n'est pas encore utilisée dans mapfishapp, et nous permet ainsi d'utiliser la bibliothèque ol3-Cesium. Nous avons privilégié la solution svieviewer au mvieviewer puisque nous n'avons pas besoin d'afficher des couches, seulement un fond de plan. Nous avons choisi de partir sur le même principe que le visualiseur Dual de GéoBretagne [22], en remplaçant la carte ancienne de 1950 par Césium pour visualiser le territoire en 3D. Comme le montre la **Figure 25**, d'un côté on a la vue 3D permettant de visualiser le territoire. Mais si nous ne connaissons pas très bien la ville, cela ne nous renseigne pas forcément sur notre emplacement. On peut alors se reporter à la vue aérienne située à gauche, qui nous indique notre position et son orientation. Nous avons numéroté les icônes, situées à gauche de la vue aérienne, sur la **Figure 26** afin de les visualiser et les expliquer. La première en partant du haut, numérotée 1, permet de revenir à la vue initiale. Les numéros 2 et 3, permettent de zoomer et dézoomer. La numéro 4 permet de changer le fond de plan, en affichant soit la vue aérienne soit le fond de plan openstreetmap. Pour finir la numéro 5 permet de se réorienter au nord.

Nous sommes partis du visualiseur Dual de GéoBretagne, cependant, celui-ci étant développé sous OpenLayers 2, nous n'avons pas pu réutiliser les fonctions. Nous avons donc seulement conservé la barre de titre. Nous avons ensuite utilisé l'exemple *side-by-side* disponible dans la bibliothèque ol3-cesium. Cet exemple juxtapose et synchronise une carte en 2D et une carte en 3D. Nous avons ainsi copié le fichier javascript dans notre dossier et ajouté dans notre fichier *index.html* les lignes permettant d'afficher ces cartes, en leur donnant une largeur de 50% afin qu'elles s'affichent chacune sur une moitié d'écran. Concernant les icônes, nous avons repris les mêmes que sur le svieviewer 3D. Nous avons cependant éliminé le bouton 3D qui ne nous est pas utile pour ce service. Pour cela, nous avons récupéré les fonctions dans les fichiers javascript du svieviewer, créées précédemment.

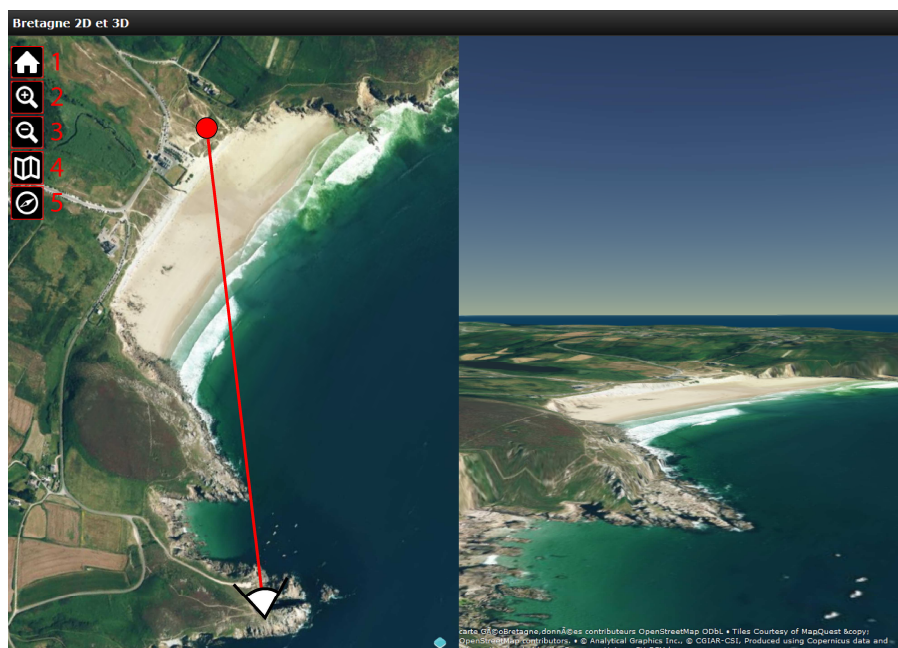


Figure 26 : Visualisation 3D avec vue aérienne et plan 2D

III.2.4 Réalité augmentée

Concernant la réalité augmentée, nous avons proposé cinq thèmes lors du sondage :

- localiser les points de références géodésiques (RBF, NTF ...) à l'aide de son smartphone ;
- localiser les réseaux enterrés à l'aide de son smartphone ;
- visualiser les futurs projets à l'aide de son smartphone
- visualiser une reconstitution de site archéologique ou de bâtiments importants à l'aide de son smartphone ;
- voir les chemins de randonnées en 3D et visualiser les informations sur place à l'aide de son smartphone.

Le service permettant de visualiser des informations sur un chemin de randonnée a été mis en évidence à la suite de ce sondage, ainsi que celui qui permet de localiser les réseaux enterrés. Cependant, les trois autres services intéressent moins les utilisateurs. Néanmoins, nous n'avons pas trouvé d'application mobile qui corresponde à nos besoins, ce qui nous a empêché de tester la réalité augmentée.

Nous avons néanmoins réfléchi à une solution. Nous avons pour cela imaginé une application « GéoBretagne » qui permettrait d'accéder aux différents services de réalité augmentée ci-dessus. Nous pourrions ainsi y accéder par l'intermédiaire d'un menu comme le montre la **Figure 27**.



Figure 27 : Maquette application GéoBretagne

Maintenant que nous avons mis en place des prototypes et des maquettes des différentes solutions que nous pouvons apporter, nous allons aborder les perspectives qui sont apparues à la suite de ce TFE.

IV Perspectives

Au cours de ce stage de fin d'études nous avons pu établir différentes perspectives qui permettent d'améliorer les différents services web 3D. Nous allons donc présenter celles que nous pouvons mettre en évidence suite aux différentes recherches.

IV.1 En termes de données

La première perspective serait d'acquérir des données plus précises, ou des données qui n'existent pas au niveau de la Bretagne, comme les bâtiments de LoD supérieur à 1. Cela permettrait d'avoir des MNT ou des utilisations de services avec une meilleure précision, comme la visualisation d'une maquette numérique de villes. Enfin, pour voir les données sur les visualiseurs 3D, il faut leur ajouter la composante z afin qu'elles correspondent au terrain.

IV.2 Fonctionnelles

Nous avons relevé plusieurs améliorations au niveau des fonctionnalités des différents services mis en place. Tout d'abord, pour le service d'exportation, il faut réaliser le découpage des données en dalles afin de les mettre à disposition des utilisateurs. Ensuite, concernant les outils de calculs 3D, seuls les outils de calculs permettant de générer une carte de pentes et des courbes de niveau ont été testés. Il reste donc une partie des outils de calculs à tester et à créer. Afin qu'ils soient compatibles avec mapfishapp, il faut développer une partie WPS et une partie client en Javascript. Pour finir, pour les services de visualisations, il faut améliorer les applications. Pour le service de visualisation Dual, il serait intéressant de pouvoir avoir un niveau de zoom différent sur les deux vues. De plus, il manque les pictogrammes de l'œil et du cercle permettant de nous situer sur la vue 2D. Concernant les visualiseurs svviewer 3D et mvviewer 3D, des fonctionnalités peuvent être ajoutées afin de les rendre plus ergonomiques, comme une boussole qui permet de connaître l'orientation de notre globe. Concernant les services permettant d'effectuer des calculs plus complexes, comme des simulations d'inondations, ou des analyses spatiales, il faut trouver une technologie qui correspond aux besoins de GéoBretagne tout en effectuant les divers calculs. Pour finir, il faut développer une application mobile qui permet d'accéder aux services de réalité augmentée.

IV.3 Techniques

La version 2 d'iTowns n'a pu être testée, puisque sa sortie stable est prévue pour décembre 2016. En effet, Cesium et iTowns étant assez similaires, nous pourrions nous demander quel est le meilleur logiciel pour nos besoins. Actuellement, nous avons choisi d'utiliser Cesium car iTowns n'est pas assez développé et ne possède pas les données nécessaires à une visualisation 3D sur l'ensemble du territoire. De plus, le svviewer et le mvviewer ont déjà intégré open layers 3. La question se reposera donc lors de la sortie d'iTowns 2, afin de savoir lequel des deux logiciels répond le mieux aux besoins. Deuxièmement, il faut tester la branche 3D-tiles de Cesium, avec les données de GéoBretagne. Ce test n'a pu être effectué puisque la branche 3D-tiles est encore en développement et qu'aucun logiciel ou script ne

permet actuellement de convertir les modèles 3D en .b3dm. Troisièmement, il faut convertir le MNT de la Bretagne afin de l'importer dans Cesium. En effet, il est plus intéressant de mettre le MNT de la Bretagne, puisque le MNT qu'utilise Cesium comporte des erreurs. Il faut pour cela stocker les données tuilées à partir de la bibliothèque Cesium Terrain Builder sur un serveur nommé Cesium Terrain Server. Pour finir, il faut développer une application mobile qui permet d'utiliser la réalité augmentée, puisque nous n'en avons pas trouvé répondant à nos besoins.

Conclusion

La 3D est une ressource de plus en plus utilisée dans les collectivités territoriales. Ce constat s'explique par l'évolution des technologies permettant une mise à disposition facilitée de ces données. De nombreuses utilisations se développent alors autour de la 3D. C'est pourquoi, les administrateurs de GéoBretagne ont souhaité savoir quels services 3D pourraient être implémentés sur leur plateforme.

L'objectif de ce mémoire est de mettre en place des solutions à partir d'un benchmarking et d'une analyse des besoins, effectués au préalable. Cette étude des services nous a permis de voir les différentes utilisations de la 3D, mais aussi de présenter des propositions aux partenaires lors du sondage. Ce dernier a contribué à l'analyse des besoins des partenaires et des utilisateurs, pour les ajouter aux besoins des administrateurs de GéoBretagne. Nous avons ainsi proposé différentes solutions correspondant aux besoins de chacun. Certaines de ces solutions sont en cours de développement, comme le svviewer et le mvviewer 3D. D'autres ne sont pas développées du tout, comme les services autour de la réalité augmentée.

Satisfaire l'ensemble des besoins des utilisateurs est une mission délicate. Certaines propositions, bien qu'elles soient très demandées à la suite du sondage, sont plus complexes à réaliser. Par exemple, la simulation des risques naturels, arrivée en tête du sondage, s'avère compliquée à mettre en place puisque très peu de technologies, répondant à l'ensemble des besoins des administrateurs de GéoBretagne, existent actuellement. Mais, les technologies sont en perpétuelle évolution, laissant entrevoir leurs réalisations dans un futur proche. Par exemple, les ombres portées ont été développées sur la version de juin 2016 de Cesium. Cette visualisation des ombres était demandée lors du sondage. Cela nous permettra ainsi de l'ajouter lors de la mise en place des services web 3D. Il en sera de même pour d'autres demandes qui pourront être incluses plus tard aux logiciels et/ou bibliothèques utilisés.

Les administrateurs disposent actuellement de différentes maquettes de solutions, il ne manque ainsi que la partie programmation à effectuer. Ces services seront ainsi mis à dispositions progressivement sur la plateforme de GéoBretagne, au fur et à mesure de leur réalisation. Celles-ci seront réalisées par les administrateurs de GéoBretagne, mais peuvent aussi être développées par la communauté geOrchestra.

L'arrivée du BIM nous permet d'évoquer une autre perspective. Il serait intéressant de créer un partenariat avec les différents acteurs bretons. En effet, ceux-ci vont collaborer sur des maquettes afin de regrouper leurs données. Bien que nous n'ayons pas besoin de maquettes aussi précises, nous pouvons cependant récupérer l'enveloppe des bâtiments. Cette réflexion et ce travail pourraient s'effectuer lors du pôle métier orthophotographie et MNT, qui réunit les acteurs intéressés par l'acquisition mutualisée d'orthophotographie aérienne et de MNT.

Ce travail de fin d'études a élargi mes connaissances sur l'univers de la 3D dans les SIG, et m'a permis également de développer des applications à partir des bibliothèques 3D. Cela m'a permis de voir comment programmer un visualiseur 3D, mais également d'étudier

brièvement le langage javascript, très utilisé par les bibliothèques Cesium et ol3-Cesium. J'ai aussi pu me familiariser avec le système Linux, très utilisé en géomatique et programmation, d'autant plus qu'il a l'avantage d'être employé par beaucoup de développeur, et ainsi d'avoir de nombreux outils à disposition.

J'ai aussi découvert le fonctionnement du partenariat GéoBretagne, tant au niveau des administrateurs que des partenaires. En effet, durant ces 20 semaines de stages, on m'a donné l'opportunité de participer à une réunion administrateur, une réunion animateurs pôles métiers et au comité technique. Ces diverses réunions réunissent les différentes personnes concernées afin de discuter de l'amélioration du partenariat, mais aussi de présenter les nouveautés sur la plateforme.

Bibliographie

- [1] *Github – georchestra/georchestra*. In : **GITHUB** [en ligne]. Disponible sur : <<https://github.com/georchestra/georchestra/>>. (consulté le 26/05/2016)
- [2] **BORDIN P.** *SIG concepts, outils et données*. Paris : Hermes Science, 2002, 259p.
- [3] **PORNON H.** *SIG La dimension géographique du système d'information*. 2^e ed. Paris : Dunod, 2015, 303p.
- [4] **PORNON H, YALAMAS P, PELEGRIS E.** *Services web géographiques, état de l'art et perspectives*. Géomatique Expert, 2008, n°65, p. 44-50
- [5] *Géoportail du SIT-Jura*. In : **REPUBLIQUE ET CANTON DU JURA** [en ligne]. Disponible sur : <<https://geo.jura.ch/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [6] *Dublinia | Mediaval Dublin*. In : **DUBLINIA**. Dublinia – Experience Viking and Medieval Dublin, [en ligne]. Disponible sur : <<http://dublinia.ie/online-learning/everyone/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [7] **PASCALON M.** *3D et urbanisme* [en ligne]. Mémoire Master 2, Saint-Etienne : Université Jean Monnet, 2013, 112p. Disponible sur : <<https://ead-shs.univ-st-etienne.fr/claroline/backends/download.php?url=LzIwMTMvMjAxM19QVVNDQUxPTi5wZGY%3D>> (consulté le 07/06/2016)
- [8] *SIG 3D – Analyser ses données en 3D (4/5)*. In : **ARCORAMA**. Arcorama le blog francophone consacré aux technologies Esri [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.arcorama.fr/2015/02/sig-3d-45-analyser-ses-donnees-en-3d.html>>. (consulté le 09/06/2016)
- [9] *Utiliser la réalité augmentée pour aider à la gestion des réseaux*. In : **AUGMENTED REALITY – REALITE AUGMENTEE** [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.augmented-reality.fr/2013/12/utiliser-la-realite-augmentee-pour-aider-a-la-gestion-des-reseaux/>> (consulté le 09/06/2016)
- [10] **GOUVEIA D.** *VaudGeo: la réalité augmentée au service des géomètres*. Géomatique Suisse [en ligne], 2013, n°111, p. 648. Disponible sur : <<http://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=geo-007:2013:111#1198>>. (consulté le 09/06/2016)
- [11] *Rennes teste une autre réalité augmentée*. In : **RENNES METROPOLE**. Le site de Rennes, Ville et Métropole, [en ligne]. Disponible sur : <<http://metropole.rennes.fr/actualites/urbanisme-deplacements-environnement/urbanisme/rennes-teste-une-autre-realite-augmentee/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [12] **PORNON H.** *3D : de la maquette jetable à l'entrepôt de données*. Rencontres SIG La Lettre, ENSG, 6/05/2010. Disponible sur : <<http://www.rencontres-sig-la-lettre.fr/wp-content/uploads/2010/05/3D-Pornon.pdf>> (consulté le 09/06/2016)
- [13] *Webmapping de l'Espace Mont-Blanc*, Géomatique Expert, 2012, n°88, p. 4-6

- [14] *Capital Bikeshare*. In : **MAPBOX**. Mapbox | Design and publish beautiful maps [en ligne]. Disponible sur : <<https://www.mapbox.com/bites/00094/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [15] *3D Geoportal AR*. In : **APPENZEL AUSSERRHODEN** [en ligne]. Disponible sur : <<http://3dgeoportal.rgdi.ch/ktar/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [16] *GeoSUR SRM/RMS*. In : **GEOSUR**. GeoSUR La Red Geospacial de America Latina y Caribe [en ligne]. Disponible sur : <<http://www.geosur.info/map-viewer/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [17] *Energie-Atlas Bayern*. In : **BAYERISCHEE STAATSREGIERUNG** [en ligne]. Disponible sur : <<http://geoportal.bayern.de/energieatlas-karten/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [18] **ALKHOURY ABDUL AHAAD T.** *Les technologies 3D et les projets urbains : Quel urbanisme en 3D ?* [en ligne] Mémoire, Reims, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2012, 697p. Disponible sur : <<http://www.institut-numerique.org/les-technologies-3d-et-les-projets-urbains-quel-urbanisme-en-3d-522d86efecbfd>>. (consulté le 09/06/2016)
- [19] *Donnees 3D*. In : **PAYS DE BREST**. GeoPaysDeBrest [en ligne]. Disponible sur : <<https://geo.pays-de-brest.fr/zapp/Pages/Donnees3D.aspx>>. (consulté le 09/06/2016)
- [20] *Descarga gratuita de datos LIDAR de la región de Murcia*. In: **GONZÁLEZ-FERREIRO E.** LiDAR.com.es [en ligne]. Disponible sur: <<http://lidar.com.es/2010/09/10/descarga-gratuita-de-datos-lidar-de-la-region-de-murcia/>>. (consulté le 22/04/2016)
- [21] *Greyhound Potree Viewer Auzten Stadium*. In : **GREYHOUND POTREE VIEWER** [en ligne]. Disponible sur : <<http://potree.entwine.io/data/autzen.html/>>. (consulté le 09/06/2016)
- [22] *La Bretagne de 1950 à nos jours*. In : **GEOBRETAGNE** [en ligne]. Disponible sur <<http://geobretagne.fr/sviewer/dual.html>>. (consulté le 09/06/2016)

Table des annexes

Annexe 1 : Questionnaire sur les usages et les besoins en 3D..... 53

Annexe 2 : Synthèse des réponses au questionnaire sur les usages et les besoins en 3D ... 60

Annexe 1
Questionnaire sur les usages et les besoins en 3D

Étude de faisabilité de mise en place de services web 3D sur GéoBretagne

Actuellement en stage à la Région Bretagne, je travaille sur l'étude d'opportunité et implémentation d'un service 3D sur GéoBretagne, permettant d'effectuer de la visualisation, des traitements ou des calculs sur des données en 3 dimensions. Ce questionnaire permet de cibler vos besoins, que vous soyez partenaires ou non de GéoBretagne.

Si vous travaillez sur la 3D et que vous désirez en discuter, n'hésitez pas à me contacter à l'adresse suivante: emma.bonhomme@bretagne.bzh

***Obligatoire**



Votre profil professionnel

1. Utilisez-vous les SIG (Systèmes d'Information Géographique)? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui
- ☐ Non

Utilisation des données 3D

2. Utilisez-vous ou visualisez-vous des données 3D? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui *Passez à la question 3.*
- ☐ Non *Passez à la question 12.*

Utilisation des données 3D

3. A quelle fréquence? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Très souvent
- ☐ Assez souvent
- ☐ Occasionnellement
- ☐ Rarement

Utilisation des données 3D

4. Quels types de données utilisez-vous ou visualisez-vous? *

plusieurs réponses possibles
Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Données 2D1/4 (BD Topo, données planimétrique avec une coordonnées z, ...)
- ☐ Données 2,5D (MNT / MNE / MNS / Litto 3D...)
- ☐ Données 3D (pour maquette numérique...)
- ☐ Nuages de points (LIDAR)
- ☐ Photos ou vidéos 360°
- ☐ Autre :

5. Quels types de services faites-vous de ces données? *

plusieurs réponses possibles
Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Maquette numérique 3D de villes (exemple: <http://www.metropole3d.rennes.fr/>)
- ☐ Réalité augmentée
- ☐ Visualisation de MNT
- ☐ Autre :

6. Si vous avez une maquette 3D quels éléments visualisez-vous?

plusieurs réponses possibles
Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Bâtiments
- ☐ Mobilier urbain
- ☐ Ouvrages d'art
- ☐ Projets d'aménagements
- ☐ Texturation
- ☐ Végétation
- ☐ Autre :

Utilisation des données 3D

7. Dans quels domaines d'applications utilisez-vous ou visualisez-vous ces données? *

plusieurs réponses possibles
Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Agriculture
- ☐ Communication
- ☐ Environnement
- ☐ Gestion des risques
- ☐ Hydrographie
- ☐ Réseaux enterrés
- ☐ Urbanisme / Aménagement
- ☐ Autre :

8. Expliquez plus précisément vos utilisations

9. Quel(s) outil(s) Desktop utilisez-vous pour visualiser ces données? *

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ ArcGIS (ArcScene)
- ☐ QGIS
- ☐ GRASS
- ☐ Je ne sais pas
- ☐ Autre : _____

10. Quel(s) outil(s) web utilisez-vous pour visualiser ces données? *

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Cesium (<https://cesiumjs.org/>)
- ☐ Elyx 3D (<http://1spatial.com/fr/products-services/elyx/elyx-gis-platform/elyx-3d/>)
- ☐ ESRI City Engine (<http://www.esri.com/software/cityengine>)
- ☐ iTowns (<http://www.ign.fr/institut/innovation/itowns>)
- ☐ Google Earth (<https://www.google.com/earth/>)
- ☐ Skyline Globe (<http://www.skylinesoft.com/>)
- ☐ Je ne sais pas
- ☐ Autre : _____

11. Quels formats utilisez-vous pour stocker ces données? *

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ 3DS
- ☐ ASCII GRID
- ☐ CityGML
- ☐ DAE (Collada)
- ☐ GeoTIFF
- ☐ LAS
- ☐ Shapefile 3D
- ☐ Je ne stocke pas de données 3D
- ☐ Je ne sais pas
- ☐ Autre : _____

Passez à la question 14.

Utilisation des données 3D

12. Avez-vous l'intention d'en utiliser ? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui *Passez à la question 14.*
- ☐ Non *Passez à la question 13.*
- ☐ Je ne sais pas *Passez à la question 14.*

Utilisation des données 3D

13. Pourquoi? *

plusieurs réponses possibles

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Manque de compétences
- ☐ Manque de moyens
- ☐ Manque de données
- ☐ Pas le besoin
- ☐ Autre :

Les services 3D sur GéoBretagne

14. Si GéoBretagne mettait des données complémentaires et des services 3D à disposition les utiliseriez-vous? *

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui *Passez à la question 15.*
- ☐ Non *Passez à la question 18.*
- ☐ Je ne sais pas *Passez à la question 15.*

Les services 3D sur GéoBretagne

15. Connaissez-vous le visualiseur GéoBretagne? *

<http://geobretagne.fr/mapfishapp/>

Une seule réponse possible.

- ☐ Oui
- ☐ Non

16. Quelles données 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne? *

plusieurs réponses possibles

Plusieurs réponses possibles.

- ☐ MNT de précision supérieure de ce qui est actuellement disponible
- ☐ Données 2D1/4 (données planimétrique avec une coordonnées z, ...)
- ☐ Données 2,5D (MNE / MNS...)
- ☐ Données 3D (pour maquette numérique...)
- ☐ Nuages de points (LIDAR)
- ☐ Photos et vidéos 360°
- ☐ Autre :

17. Quels services web 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne? *

plusieurs réponses possibles
Plusieurs réponses possibles.

- ☐ Calculer l'ombre portée
- ☐ Calculer la différence de volumes entre 2 Modèles Numérique de Terrain (exemple: érosion d'une falaise...)
- ☐ Calculer le potentiel d'une maison pour des panneaux photovoltaïques
- ☐ Connaître le chemin d'une goutte d'eau
- ☐ Consulter le PLU (Plan Local d'Urbanisme) en 3D
- ☐ Dessiner des courbes de niveaux
- ☐ Exporter des données LIDAR
- ☐ Exporter le MNT (Modèle Numérique de Terrain)
- ☐ Faire des analyses spatiale en 3D (savoir si un bâtiment se trouve entièrement dans le volume réglementaire de construction...)
- ☐ Faire des calculs 3D (distances, dénivelées, pentes ...)
- ☐ Générer des carte de pentes
- ☐ Localiser les points de références géodésique (RBF (Réseau de Base Français), NTF (Nouvelle Triangulation Française) ...) à l'aide de son smartphone (réalité augmentée)
- ☐ Localiser les réseaux enterrés à l'aide de son smartphone (réalité augmentée)
- ☐ Planifier un événement sportif (Tour de France ...)
- ☐ Représenter les bâtiments selon des choix de critères
- ☐ Simuler des éléments de la vie quotidienne (bruit, éclairage ...)
- ☐ Simuler des risques naturels (inondations ...)
- ☐ Visualiser la vue aérienne 3D avec position sur le plan
- ☐ Visualiser les futurs projets à l'aide de son smartphone (réalité augmentée)
- ☐ Visualiser un profil en long avec différentes options (trajets, cours d'eau, bâtiments...)
- ☐ Visualiser une maquette numérique 3D du territoire
- ☐ Visualiser une maquette numérique 3D de villes sur une ou plusieurs années
(<http://dublinia.ie/online-learning/everyone/>)
- ☐ Visualiser une reconstitution de site archéologique ou de bâtiments importants à l'aide de son smartphone (réalité augmentée)
- ☐ Visualiser sous forme de Globe (exemple: Google Earth...)
- ☐ Voir la visibilité d'un point
- ☐ Voir les chemins de randonnées en 3D et visualiser les informations sur place à l'aide de son smartphone (réalité augmentée)
- ☐ Autre :

Votre profil personnel

18. Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous? *

Une seule réponse possible.

- ☐ - de 20 ans
- ☐ 21-40 ans
- ☐ 41-60 ans
- ☐ + de 60 ans

19. Dans quel département habitez-vous? *

Une seule réponse possible.

- ☐ 22
- ☐ 29
- ☐ 35
- ☐ 56
- ☐ Autre : _____

20. Avez-vous d'autres commentaires ou remarques ?

Je vous remercie de vos réponses, n'oubliez pas que si vous travaillez sur la 3D et que vous désirez en discuter, vous pouvez me contacter à l'adresse suivante: emma.bonhomme@bretagne.bzh

Fourni par

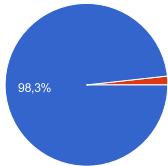


Annexe 2
Synthèse des réponses au questionnaire sur les usages et les besoins en
3D

117 réponses

Votre profil professionnel

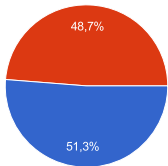
Utilisez-vous les SIG (Systèmes d'Information Géographique)?



Oui	115	98.3 %
Non	2	1.7 %

Utilisation des données 3D

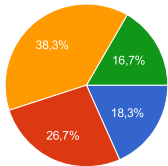
Utilisez-vous ou visualisez-vous des données 3D?



Oui	60	51.3 %
Non	57	48.7 %

Utilisation des données 3D

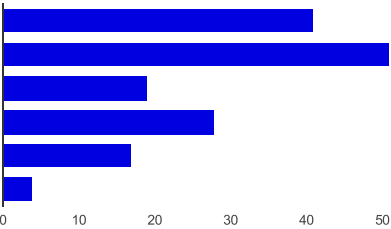
A quelle fréquence?



Très souvent	11	18.3 %
Assez souvent	16	26.7 %
Occasionnellement	23	38.3 %
Rarement	10	16.7 %

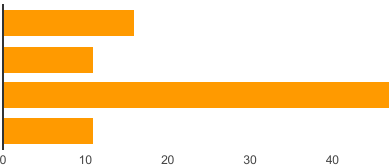
Utilisation des données 3D

Quels types de données utilisez-vous ou visualisez-vous?



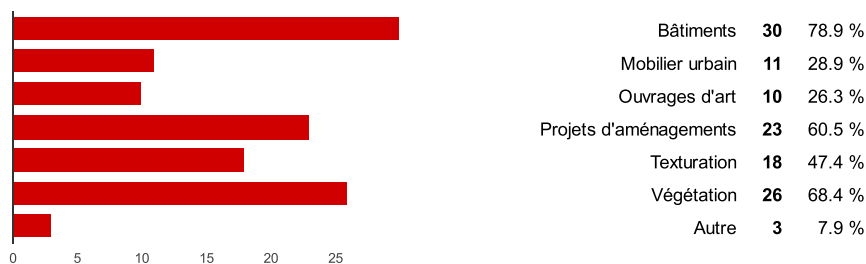
Données 2D1/4 (BD T po, données planimétrique avec u e c rdo ées z, ...)	41	8.3
Données 2,5D (MNT / MNE / MNS / Litto 3D...)	51	85
Données 3D (pour maquette numérique...)	19	31.7
Nuages de points (LIDAR)	28	46.7
Photos ou vidéos 360°	17	28.3
Autre	4	6.7

Quels types de services faites-vous de ces données?



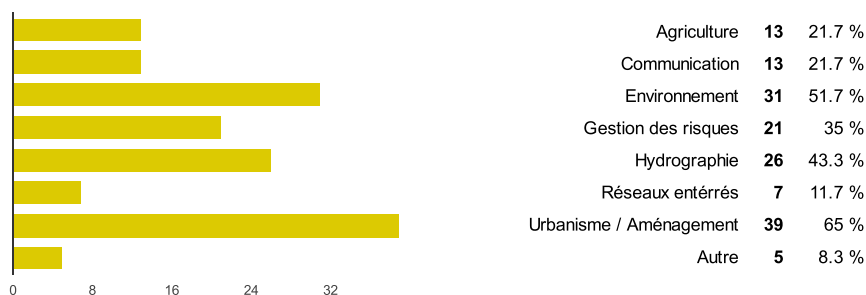
Maquette numérique 3D de villes (exemple: http://www.metropole3d.rennes.fr/)	16	26.7
Réalité augmentée	11	18.3
Visualisation de MNT	47	78.3
Autre	11	18.3

Si vous avez une maquette 3D quels éléments visualisez-vous?



Utilisation des données 3D

Dans quels domaines d'applications utilisez-vous ou visualisez-vous ces données?



Expliquez plus précisément vos utilisations

Tous les usages liés à la smartcity

Exemple : carte du relief dans le cadre d'un dossier de candidature pour le label Pays d'Art et d'Histoire

Outil nav 3D pour les salons (SIMI/MIPIM) ou visu sites historiques. maquettes3D (vues insertion de projets urbains), cadastre solaire, carte des hauteurs, dans le cadre de la collectivité dans laquelle je travaille

Utilisation de Litto3D pour l'application de l'art. R111-2 du code de l'urbanisme (refus de permis si risque de submersion marine), et pour les épandages, et un peu les données bathymétriques

Évaluez les potentiels risques d'inondations de quelques communes

Modélisation des transferts de l'eau et solutés dans des bassins versants

Outil d'aide à la décision pour travailler sur la création d'un remaillage bocager efficace, inventaire et classement du bocage dans les documents d'urbanisme

Études des risques d'inondations, gestion de l'eau (SAGE)

Dans mon travail

Médiation urbaine à destination du grand public, aide à la décision à destination des élus et techniciens

Étude des estives en montagnes et des forêts dans le cadre d'un stage

Concertation

Il s'agit d'exemples que je développe dans mes cours (couplage télédétection avec MNT pour identifier par exemple certains types de cultures, visualisation en perspective de coulées de boue, sélection de puits dont le fond intersecte une nappe d'eau polluée, etc..)

Dans le cadre de projets étudiants : - création d'une maquette 3D de Rennes, en créant un nouveau bâtiment (logiciel sketchup) - modélisation de l'évolution du type d'occupation du sol (utilisation de données LIDAR et création de MNT, MNE, avec le logiciel ArcGIS ou Grass (avec une grande préférence pour ArcGIS pour ce type d'opération))

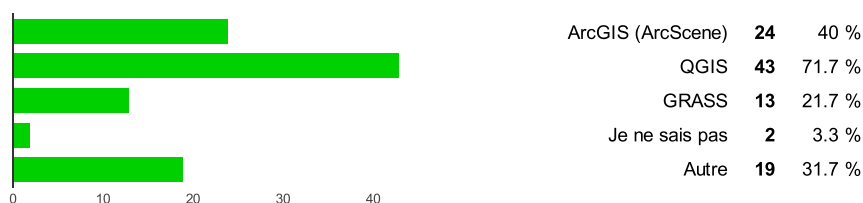
zones inondables

Si on ne parle que des données des maquettes 3D, je ne les visualise que dans le domaine aménagement pour connaître l'ampleur d'un projet et en déduire les besoins de données topographiques que je vais devoir constituer ou compléter.

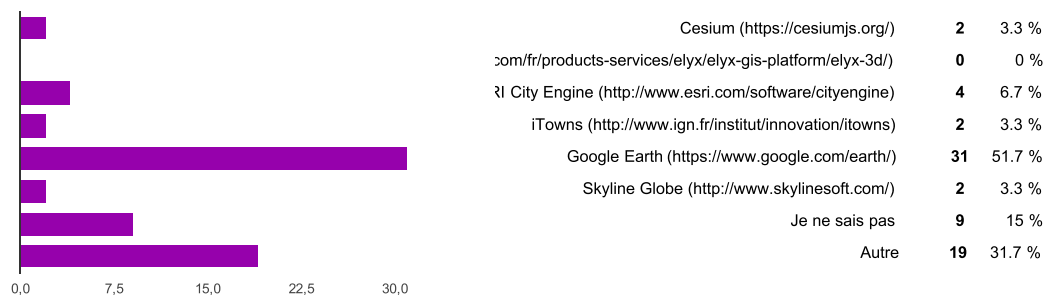
Actuellement, ce sont des tests que nous menons pour visualiser les projets urbains en 3D.

Études d'urbanisme et d'aménagement public/privé

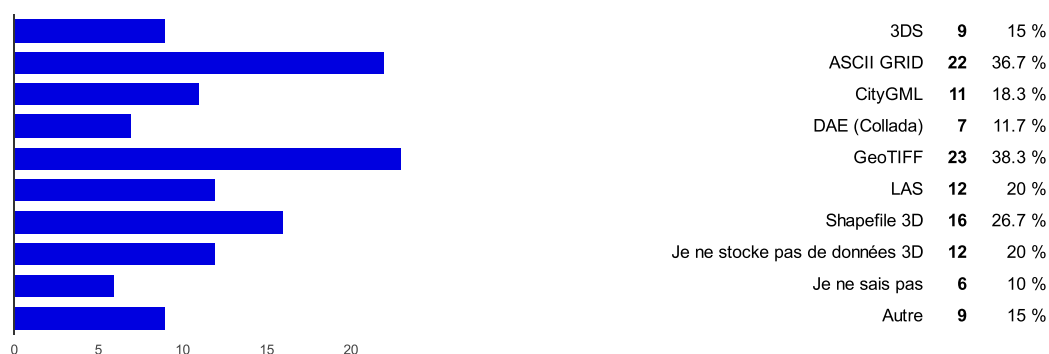
Quel(s) outil(s) Desktop utilisez-vous pour visualiser ces données?



Quel(s) outil(s) web utilisez-vous pour visualiser ces données?

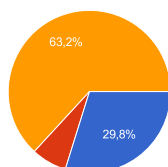


Quels formats utilisez-vous pour stocker ces données?



Utilisation des données 3D

Avez-vous l'intention d'en utiliser ?



Oui	17	29.8 %
Non	4	7 %
Je ne sais pas	36	63.2 %

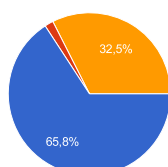
Utilisation des données 3D

Pourquoi?



Les services 3D sur GéoBretagne

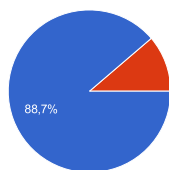
Si GéoBretagne mettait des données complémentaires et des services 3D à disposition les utiliseriez-vous?



Oui	77	65.8 %
Non	2	1.7 %
Je ne sais pas	38	32.5 %

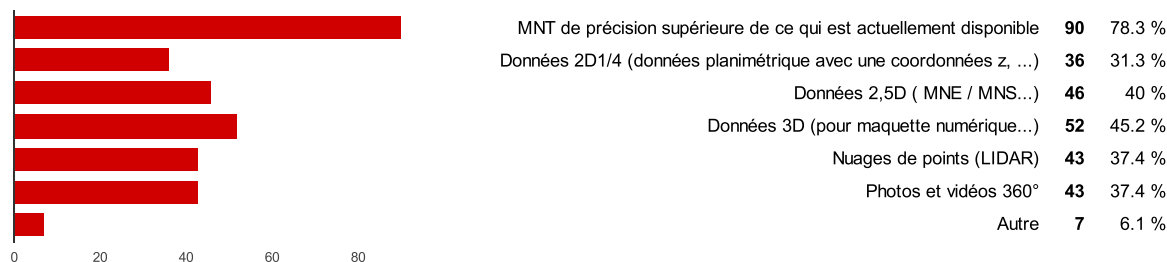
Les services 3D sur GéoBretagne

Connaissez-vous le visualiseur GéoBretagne?



Oui	102	88.7 %
Non	13	11.3 %

Quelles données 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne?

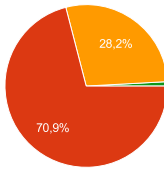


Quels services web 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne?



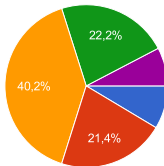
Votre profil personnel

Dans quelle tranche d'âge vous situez-vous?



de 20 an	0	0 %
21-40 an	3	70.9 %
41-60 an	33	28.2 %
+ de 60 an	1	0.9 %

Dans quel département habitez-vous?



22	10	8.5 %
29	25	21. %
35	47	40.2 %
56	26	22.2 %
Autre	9	7.7 %

Avez-vous d'autres commentaires ou remarques ?

Très bonne proposition et questionnaire clair et rapide

Contact: Pays de Guingamp

Bonjour, je suis Elisabeth NAJA , responsable du projet 3D à B est métropole. Je ne suis pas une utilisatrice de la 3D, mais je la produis et l'utilise pour le compte des services de la collectivité.

Il n'était question nulle part des nombreux levers de Géomètres achetés par les collectivités et pas valorisés ensuite car on ne sait même pas qu'ils existent. --> 3Dthèque ?

J'espère que ce projet 3D va aboutir et éventuellement fournir des sujets de travaux pour les étudiants du Master Image

Questions très pertinentes pour la définition des besoins. Hâte de voir les résultats !

Concernant ma vision sur les données 3D et sur leur visualisation: Les représentations 3D servent majoritairement dans le domaine de la communication. En effet, mis à part les données LIDAR que je pense très intéressantes pour des études et analyses poussées, selon moi le reste rentre plus dans la catégorie "gadget". Cependant, des représentations 3D sont très parlantes pour le grand public ou les élus, en cela la 3D est un outil décisionnel à part entière.

toutes les options présentées peuvent avoir leur intérêt. c'est un super travail.

Mes réponses sont un tant soit peu intuitives car j'ai très peu de connaissances sur la 3D...

Je travaille en partenariat avec la Finlande qui a un SCAN LiDAR de 70 % de ses forêts et vise 100% en 2020. En France et en Bretagne, les données LIDAR ne se justifient pas uniquement à cause de la forêt, mais incluent cet aspect. Je suis donc intéressé par les autres aspects qui permettraient d'adopter cette technique d'acquisition de données.

Liste des figures

Figure 1: Champs et valeurs du lycée Victor et Hélène Basch sous QGIS	13
Figure 2: Légende du Lycée Victor et Hélène Basch sur le mviewer	13
Figure 3: exemple de fichier content.ftl	14
Figure 4 : Représentation de la 2,5D.....	15
Figure 5 : Représentation de la 3D.....	15
Figure 6: Maquette numérique 3D de la ville de Lyon (source: http://data.grandlyon.com/)	16
Figure 7: Exemple d'application de réalité augmentée (source : http://www.krakenrealtime.com/).....	17
Figure 8: Les cinq niveaux de détails (LoD) définis dans CityGML (source: IGG Uni Bonn); Extrait de OGC CityGML	20
Figure 9: Visualisation du territoire en 3D (source: http://geo.jura.ch/)	21
Figure 10: Utilisation de la réalité augmentée pour visualiser les réseaux (source : https://bimbt.com/)	22
Figure 11: Calculs de distance inclinée et de dénivelée (source: http://3dgeoportal.rgdi.ch/)	23
Figure 12: Visibilité d'une antenne télécom (source: http://www.arcorama.fr/)	23
Figure 13: Simulation d'une inondation à la confluence entre la Seine et la Marne (source : http://www.arcgis.com/)	24
Figure 14: Service d'exportation du MNT du Pays de Brest (source: https://geo.pays-de-brest.fr/).....	25
Figure 15: Réponse à la question : « Si GéoBretagne mettait des données complémentaires et des services 3D à disposition les utiliseriez-vous ? »	27
Figure 16: Réponse à la question : « Quelles données 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne? ».....	27
Figure 17 : Réponse à la question : « Quels services web 3D aimeriez-vous voir sur GéoBretagne ? »	29
Figure 18 : Visualisation de la couche d'export des données LiDAR dans le mviewer	36
Figure 19 : Exemple de fiche d'exportation des données MNT ou LiDAR sur le mviewer.....	36
Figure 20 : Outil de sélection des calculs – exemple de courbes de niveau.....	38
Figure 21 : Outil de sélection des calculs – exemple de distances 3D	38
Figure 22 : Script python permettant de générer une carte de pentes.....	39
Figure 23 : Script python permettant de calculer des courbes de niveau	41

Figure 24 : Visualisation 3D sur le svviewer	42
Figure 25 : Visualisation 3D des arrêts et lignes de transport régional.....	43
Figure 26 : Visualisation 3D avec vue aérienne et plan 2D	44
Figure 27 : Maquette application GéoBretagne.....	45

Liste des tableaux

Tableau 1 : Tableau des précisions et des pas de la grille des données existantes.....	11
Tableau 2 : Précision et pas de la grille des données 3D qui pourraient être acquises	30
Tableau 3 : Comparatif des solutions 3D.....	34
Tableau 4 : gabarit et nombre de dalles	35

Etude d'opportunité et implémentation de services web 3D sur GéoBretagne

TFE d'Ingénieur C.N.A.M., Le Mans 2016

RESUME

L'usage de la 3D dans un SIG est de plus en plus important de nos jours. Le partenariat de GéoBretagne a fait le choix de mettre en place des services web 3D sur leur Infrastructure de Données Spatiales. Le but de ce travail est d'étudier l'existant et les besoins afin de proposer des services web 3D aux utilisateurs de la plateforme GéoBretagne.

Avant de présenter des solutions, un benchmarking a été réalisé sur les technologies et les services web 3D. Un sondage a été diffusé à l'ensemble des utilisateurs et des partenaires de GéoBretagne afin de recenser leurs besoins. Cela a conduit à mettre en place des maquettes de visualiseurs 3D, et à proposer des prototypes de service d'exportation, de calculs 3D et de réalité augmentée.

Mots clés : 3D, Cesium, collectivités territoriales, geOrchestra, IDS, SIG

SUMMARY

The use of 3D in a GIS is more and more important today. GéoBretagne's partnership has chosen to implement 3D web services in their Spatial Data Infrastructure. The aim of this work is to study what does exist and the needs, in order to propose 3D web services to users of the platform GéoBretagne.

Before proposing solutions, a benchmarking has been realized on 3D technologies and 3D web services. A questionnaire was distributed to the users and partners of GéoBretagne to identify their needs. As a result, few 3D viewer mock-up have been developed and prototypes of export service, 3D calculation and augmented reality have been suggested.

Key words: 3D, Cesium, local authorities, geOrchestra, SDI, GIS