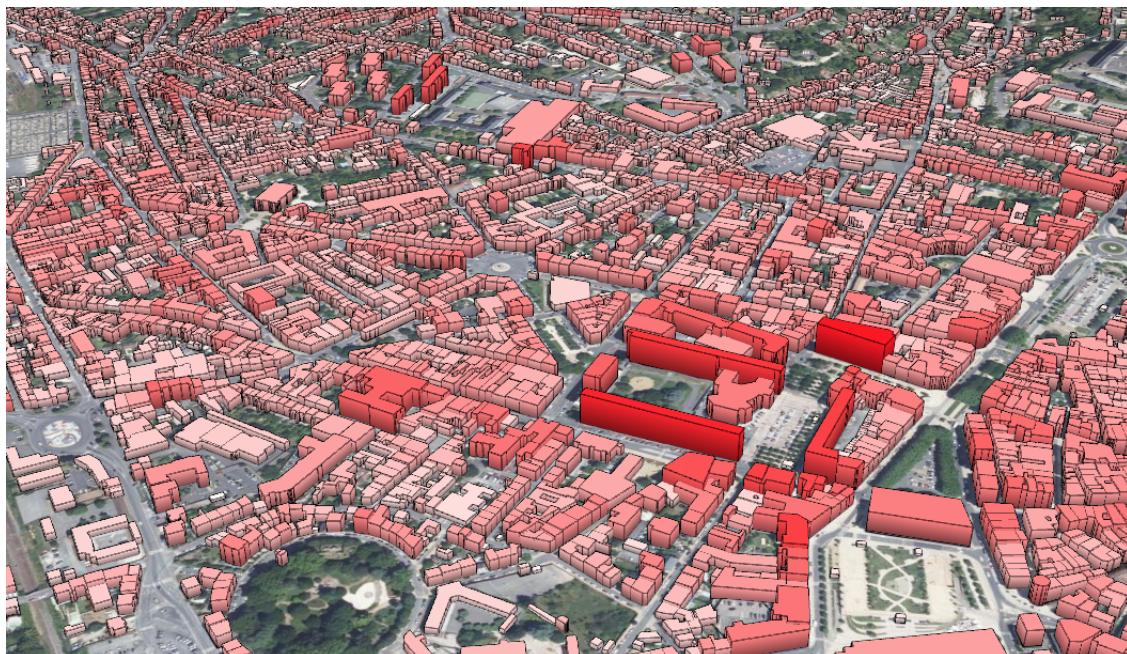


Projet long TSI 2023

Gemini Numérique
L'interconnexion de données pour les jumeaux
numériques de territoire



L'équipe :

Samuel JUBAULT, Nelly PASSIER-DELHOMME
Jessy RIBAIRA, Gaëtan TIAZARA, Enzo VENON

Mars - Avril 2023

Résumé

Lors du projet de fin d'étude de la spécialité Technologie des Système d'Information (TSI) de l'Ecole Nationale des Sciences Géographique (ENSG Géomatique), notre groupe a choisi de travailler sur le sujet de recherche qui consiste à mettre en place un prototype de jumeau numérique de territoire. Le but principal est d'étudier la possibilité d'interconnecter des données, liées aux bâtiments, provenant de différents producteurs de données.

Mots-clés : Jumeau numérique, producteur de données, interconnexion de données, iTowns

Abstract

Our group decided to work on the research topic that entails creating a prototype of a digital territory twin for the end-of-study project for the French National School of Geomatics (ENSG Geomatics) for the Information System Technology (TSI) speciality. The aim of the project is to investigate the viability of linking building-related data from various data sources.

Keywords : Digital twin, data producer, data interconnection, iTowns

Table des matières

| | |
|---|-----------|
| Glossaire et acronymes utiles | 4 |
| 1 Aperçu du projet | 6 |
| 1.1 Contexte | 6 |
| 1.2 Besoins | 6 |
| 1.3 Les livrables | 7 |
| 2 Gestion de projet | 8 |
| 2.1 Risques | 8 |
| 2.2 Organisation | 8 |
| 2.3 Sprints | 9 |
| 3 Analyse du projet | 10 |
| 3.1 Architecture | 10 |
| 3.1.1 Diagramme de package | 10 |
| 3.1.2 Diagramme de classe | 11 |
| 3.1.3 Interconnexion de données | 11 |
| 3.2 Analyse fonctionnelle | 13 |
| 3.2.1 Diagramme d'activité | 13 |
| 3.3 Choix techniques | 15 |
| 3.3.1 Langage de développement et bibliothèques principales | 15 |
| 3.3.2 Environnement de travail | 15 |
| 3.3.3 Sources en données | 16 |
| 4 Présentation de l'outil | 17 |
| 4.1 La vue d'ensemble | 17 |
| 4.2 La vue détaillée | 18 |
| 4.3 Les renseignements complémentaires | 18 |
| 4.4 Les options de personnalisation | 18 |
| 4.5 Les outils de navigation | 18 |
| 4.6 La gestion de données externes | 19 |
| 5 Limites et perspectives | 20 |
| 5.1 Retours utilisateurs | 20 |
| 5.2 Limites | 20 |
| 5.2.1 Limites que nous avons rencontrées | 20 |
| 5.2.2 Limites rencontrées par les utilisateurs | 20 |
| 5.3 Perspective d'améliorations | 21 |
| 5.3.1 Nos propositions générales | 21 |
| 5.3.2 Notre proposition pour la configuration | 22 |
| 5.3.3 Proposé par les utilisateurs | 23 |
| 5.4 Difficultés rencontrées | 24 |
| 5.4.1 Difficultés liées au projet | 24 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5.4.2 | Difficultés liées à l'organisation | 24 |
| 6 | Conclusion | 25 |
| 6.1 | Retour d'expérience | 25 |
| 6.2 | Conclusion | 25 |
| 7 | Annexes | 28 |

Glossaire et acronymes utiles

BDNB Base de données nationale des bâtiments

BDTopo Base de données topographique

ENSG École Nationale des Sciences Géographiques

TSI Technologie des Systèmes d'information

IGN Institut National de l'Information Géographique et Forestière

INRIA Institut national de recherche en sciences et technologies du numérique

LaSTIG Laboratoire en Sciences et Technologies de l'Information Géographique

CEREMA Expert public pour la transition écologique et la cohésion des territoires

ICI INRIA - Collaboration - IGN

INSEE Institut national de la statistique et des études économiques

IRIS Ilots Regroupés pour l'Information Statistique

OSM OpenStreetMap

PO Product Owner

SHP Shapefile

Introduction

Le projet que nous avons choisi concerne les Jumeaux Numériques. Ils sont une représentation numérique du monde réel avec laquelle on peut interagir. L'IGN, l'INRIA et le CEREMA ont lancés un projet qui se nomme "Jumeau Numérique de territoire" qui a pour but de représenter la France entière numériquement. Cet outil va permettre une aide à la décision concernant les territoires concernés, va regrouper plusieurs sources de données et servir de base de développement pour de futurs projets.

Notre groupe doit mettre en place un prototype nommé "Gemini numérique" qui va servir de base pour de futurs développements. Nous devons faire, dans un premier temps, un lien entre les données des BD Topo, BD Alti et BD Ortho de l'IGN avec des données de l'INSEE (données de population) sur iTowns. De plus, nous devons organiser des comités utilisateurs pour que nos développements s'accordent avec les besoins métiers des futurs utilisateurs de cet outil. Nous avions 6 semaines pour mener à bien ce projet en utilisant les méthodes AGILES pour "livrer" de petites fonctionnalités toutes les semaines à nos commanditaires, Bénédicte BUCHER et Mathieu BREDIF, qui sont des chercheurs au LaSTIG (IGN).

APERÇU DU PROJET

1.1 Contexte

Nous sommes chargés de développer un jumeau numérique pour faciliter l'accès aux données, dans un premier temps au sein du territoire de Périgueux puis dans un second temps Paris. Nous avons commencé par collecter des données sur l'ensemble du territoire, tels que les plans du cadastre, les spécifications des risques, les données de performance énergétique et les données de maintenance. Ensuite, nous utilisons ces données pour créer une représentation numérique précise du territoire, en utilisant des logiciels d'interface graphique. Dans le cadre de notre projet, il nous était demandé de fournir un prototype sur lequel il sera possible de s'appuyer dans le futur. Nos commanditaires, Bénédicte BUCHER et Mathieu BREDIF, nous ont fourni un cahier des charges contenant uniquement les grandes lignes du projet : nous devions faire des recherches pour leur amener des idées innovantes et cohérentes avec leurs demandes.

1.2 Besoins

Nous avons pu alors, en tirer les besoins suivants :

- Réaliser une interface "user friendly"
- Pouvoir choisir la base de données sur laquelle l'emprise au sol sera choisie.
- Réaliser dans un premier temps, l'expérimentation sur Périgueux, puis dans un second temps, sur Paris.
- Ajouter les données de population synthétique
- Travailler sur les données liées aux bâtiments.
- Interconnecter différentes sources de données en commençant par la BD Topo et les données de l'INSEE en utilisant iTowns.

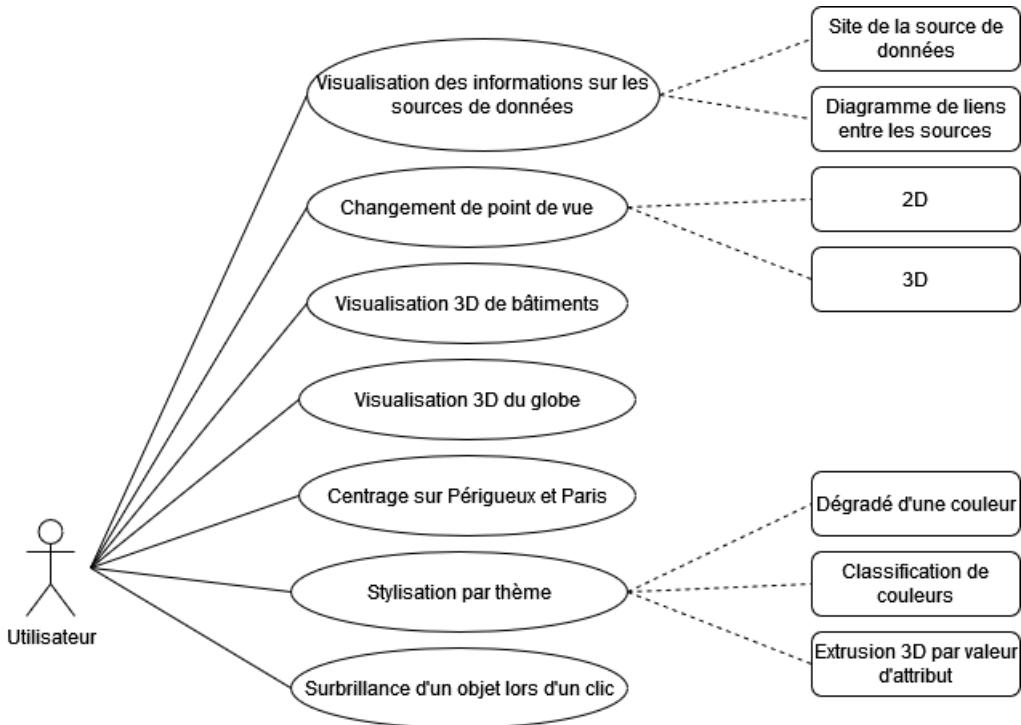


FIGURE 1.1 – Diagramme d'utilisation

Le diagramme précédent présente une partie des cas d'utilisation de l'application, vous retrouverez l'intégralité du diagramme en Annexe 7.1. On peut comprendre, grâce à ce diagramme, que l'on peut changer de point de vue entre une vue 2D et 3D. Le diagramme ne suit pas exactement les codes de l'UML mais certains procédés que nous avons voulu appliquer pour une meilleure compréhension de notre part.

1.3 Les livrables

GESTION DE PROJET

2.1 Risques

| Risque | Probabilité | Conséquences | Actions préventives entreprises |
|---|-------------|---|---|
| Mauvaises estimations du temps | Fort | Délais dans les livrables ou travail inefficace. | Planning partagé |
| Planning Incorrect ou incomplet | Moyen | Pertes de temps, travail inefficace | Réunions régulières de mise à jour |
| Manque de compétences | Faible | Inaptitude à implémenter des solutions adéquates | Discussions et questions entre nous et avec des professeurs et développeurs |
| Développer des outils déjà existants | Faible | Pertes de temps | Conduire un état de l'art avant nos développements |
| Manque de puissance du matériel | Moyen | Pertes de temps, incapacité à travailler correctement | S'assurer d'utiliser des données allégées et optimiser le code exécutable |
| Perte de vue des demandes des commanditaires | Faible | Mauvaise réponse aux attentes du projet | Réunion quotidienne avec les commanditaires |
| Baisse de motivation | Moyen | Travail lent, inefficace | Soutien mutuel durant le projet et intérêt pour le travail de l'autre |
| Contrainte du firewall de l'ENSG | Fort | Documentation inaccessible (iTowns) | Utiliser le réseau mobile |
| Perte de travail | Faible | Perte de temps et de motivation | Logiciels de gestion de versions et fichiers de backup |
| Modifications non-fonctionnelles dans la production | Moyen | Fonctionnalités non-utilisables pour les utilisateurs | Protection de la branche de production, obligation de relecture des pull-requests |
| Problèmes communication dans l'équipe | Moyen | Pertes de temps, incapacité à travailler correctement | Réunions régulières d'écoute des problèmes de chacun et de proposition de solutions |

FIGURE 2.1 – Matrice de risques

2.2 Organisation

Pour pouvoir répondre le plus rapidement aux demandes des commanditaires, nous avons adopté une méthodologie AGILE avec des Sprints d'une semaine. Nous avons décidé d'avoir un Product Owner (Nelly) et un Scrum Master (Enzo) pendant toute la durée du projet. Nous avons prévus une à deux réunions par semaine avec les commanditaires pour présenter nos idées ainsi que les différentes maquettes. Pour pouvoir illustrer les demandes des commanditaires (avec que les développements soient finis), nous mettions à jour une maquette graphique qui présentait l'outil. Elle se trouvera en Annexe 7. Ci-dessous, vous pouvez voir notre organisation avec les différentes parties prenantes du projet :

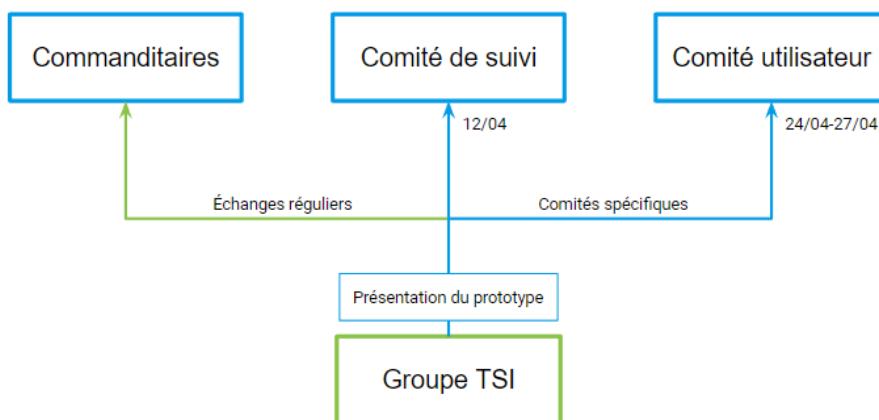


FIGURE 2.2 – Organisation générale

Comme vous avez pu le voir sur la figure ci-dessus, nous avons du organiser un Comité de Suivi, le 12/04, avec l'aide de nos commanditaires. Nous avons présenté notre prototype, notre organisation

ainsi que nos développements à des agents de l'IGN concernés par le projet. Ce comité nous a permis d'avoir un angle de vue différent de celui de nos commanditaires et ainsi avoir de nouvelles idées de développements/amélioration pour notre outil.

Nous devions aussi organiser un Comité Utilisateur. Cependant, le carnet d'adresse des utilisateurs s'est décidé entre le 17/04 et 21/04, l'avant dernière semaine de projet. Nous n'avons pas pu organiser une réunion spécifique à cause de ces contraintes. Il a donc été décidé de contacter les utilisateurs un à un pour leur proposer de tester notre site. Nous leur avons fourni un Guide d'utilisateur, une vidéo de présentation ainsi qu'un questionnaire à remplir. Tous ces utilisateurs testeurs sont des membres de l'IGN, des étudiants et membres de l'ENSG ainsi que des professionnels du milieu. Leurs retours serviront de pistes d'améliorations pour les futurs développements (sans notre groupe de TSI). Leurs retours seront renseignés dans la partie 5.1 du rapport.

2.3 Sprints

Voici l'organisation que nous avons eue lors de ce projet (par semaine) :

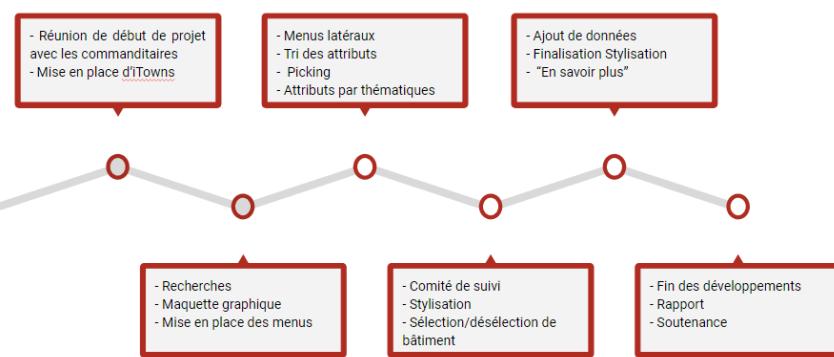


FIGURE 2.3 – Planning des Sprints

- La **première semaine** a été dédiée à la clarification du sujet et des demandes des commanditaires. De plus, nous avons aussi mis en place iTowns sur la ville de Périgueux avec de petites actions basiques.
- La **deuxième semaine** a principalement été dédiée aux recherches sur les jumeaux numériques et les technologies que l'on pouvait employer. De plus, nous avons créé une maquette graphique qui a évolué tout au long du projet. Des menus ont aussi été mis en place.
- La **troisième semaine** a permis de commencer les développements purs et durs : nous avons mis en place des menus latéraux, nous avons trié les attributs disponibles dans les bases de données pour ensuite les intégrer dans les menus latéraux thématiques et mis en place la sélection (picking) sur un bâtiment.
- La **quatrième semaine** était principalement consacrée au comité technique : nous devions rapidement mettre en place des fonctionnalités (stylisation ; sélection/désélection d'un bâtiment) pour ensuite les présenter.
- L'**avant dernière semaine** du projet était consacrée à la finalisation des fonctionnalités qui ont mis beaucoup de temps à être implémentées : la stylisation, les ajouts de données et la finalisation des volets de données. C'est sensé être la dernière semaine de développement.
- La **dernière semaine** du projet a été utilisée pour nettoyer le code, mettre des commentaires qui n'avaient pas ajoutés précédemment, l'écriture du rapport ainsi que la préparation de la soutenance.

ANALYSE DU PROJET

3.1 Architecture

3.1.1 Diagramme de package

Pour organiser au mieux la structure du projet informatique, différents packages ont été mis en place : ils regroupent des codes ayant la même responsabilité.

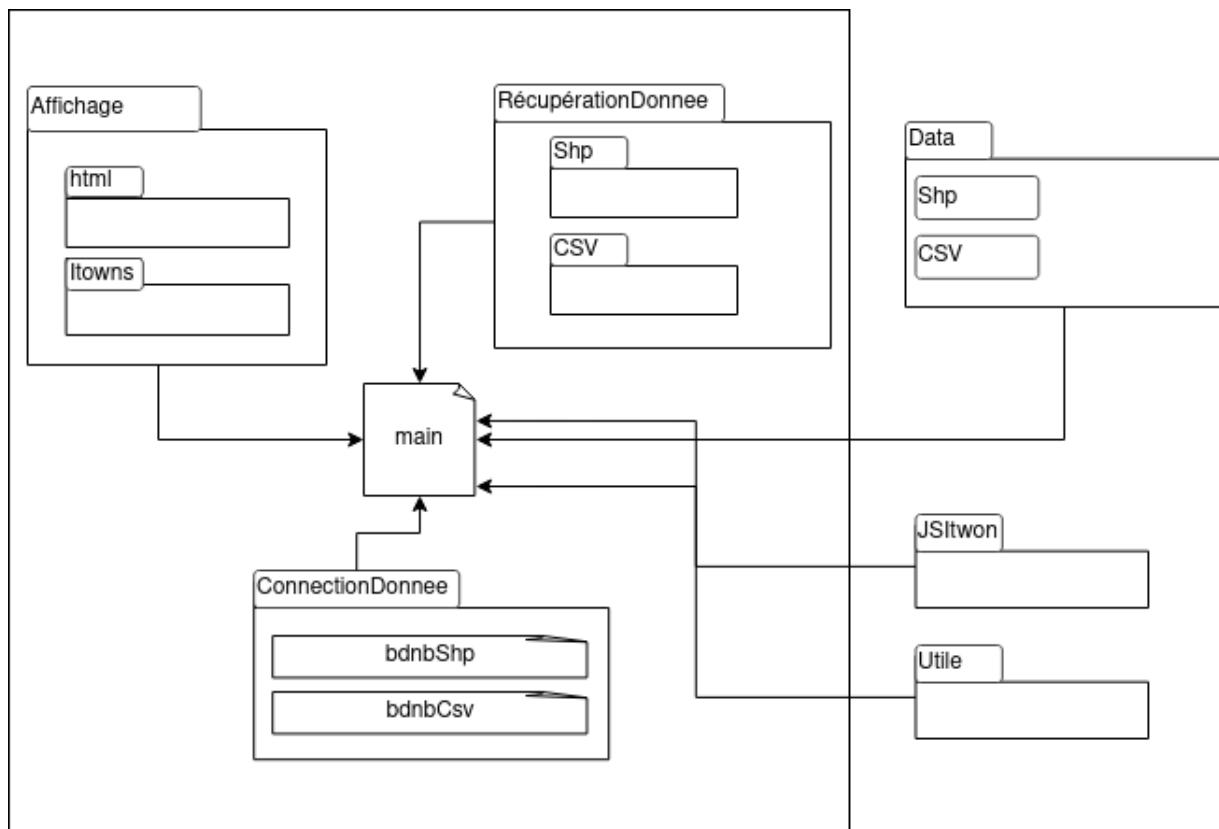


FIGURE 3.1 – Diagramme de package

Voici les principaux packages du projet.

- Le package `RecuperationDonnee` regroupe les fonctions permettant de récupérer les différents types de données (shp, csv). Ces données sont extraites sous forme de geojson pour les shp et de liste pour les csv.
- Le package `affichage` contient toutes les fonctions en rapport avec l'affichage html ou iTown. On y trouve notamment la gestion des affichages 2D et 3D de iTowns selon les différentes sources de donnée. Et aussi, la modification dynamique des div dans l'html en fonction de données récupérées.

- Le package *connectiondonnee* contient toutes les fonctions en rapport avec l'interconnexion de données provenant de différentes bases.
- Le package *jsttown* contient des plugins spécifiques fournis par iTowns tel que le plugin de navigation 2D/3D.
- Le package *utile* permet de regrouper toutes les fonctions réutilisables par d'autres dans n'importe quel package pour faciliter le travail.

3.1.2 Diagramme de classe

Une partie du code a été créé sous forme de classes, dans le but de mieux structurer le code, le rendre plus lisible et plus facilement réutilisable. On le souhaitait réutilisable dans l'optique où ce prototype, ou des parties de celui-ci, seraient reprises pour élaborer un prototype plus développé ou pour commencer le développement du projet *Jumeau Numérique France Entière*. Cette classe était aussi le début de la fonctionnalité de configuration, que nous n'avons pas eu le temps d'implémenter.

La classe de style permet la création de différents styles, qui doivent être des dégradés de couleurs ou des classifications. Elle permet de détecter automatiquement le minimum et maximum d'un champ, et de classifier automatiquement. Elle gère aussi l'affichage en 2D ou en 3D des objets. Une méthode crée la légende associée.

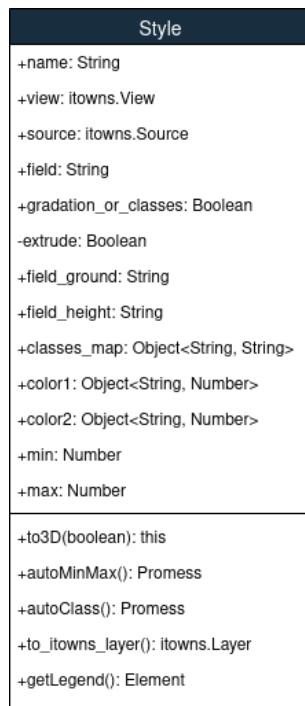


FIGURE 3.2 – Diagramme de classe

3.1.3 Interconnexion de données

L'interconnexion de données est la capacité de connecter différentes sources de données, afin de créer un ensemble de données plus complet et utile pour l'analyse ainsi que la prise de décision.

La base de données « mère », à partir de laquelle nous puisons directement les informations (dans le cadre de notre projet), est la **Base de Données Nationale des Bâtiments** (BDNB). Cette base de données recueille beaucoup d'informations à partir de plusieurs bases de données. Ces informations incluent des identificateurs d'objets provenant d'autres bases de données. Ainsi, des liens ont été créés avec des liens ont donc été réalisés avec la base de données topographiques (BDTopo), la Base infra-communale (IRIS) sur le recensement de la population de l'INSEE et des données simulées de population synthétique du projet INRIA-Collaboration-IGN (ICI) (Fig. 3.3). Ces

12 Analyse du projet

liens sont robustes car les attributs sont partagés entre BDNB et les trois autres bases de données. Grâce à l'attribut batiment_c de BDNB, les bases de la BDtopo et la population synthétique sont accessibles respectivement via les attributs ID et idBdTopo. L'accès aux données de la population par IRIS de l'INSEE se fait à l'aide de l'attribut IRIS, qui correspond à l'attribut code_iris dans BDNB.

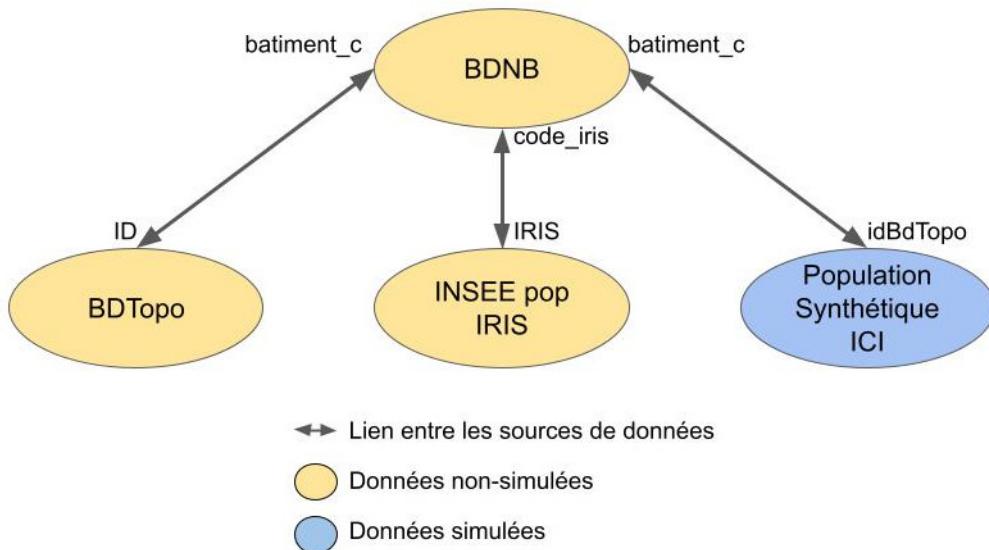


FIGURE 3.3 – Interconnexion entre les bases de données utilisées

Les données utilisées provenant de la Population Synthétique du projet ICI sont départagées en 4 bases :

- Building : Informations sur chaque assemblage
- Housing : Informations sur chaque unité dans un bâtiment particulier
- Household : Informations sur chaque ménage au sein d'une résidence particulière
- Individual : Informations sur chaque individu du ménage

L'accès à Building avec l'attribut idBdTopo est possible depuis l'attribut batiment_c de la BDNB (Fig. 3.6). Deuxièmement, l'attribut ID de Building est identique à l'attribut BuildingID de Housing. En utilisant, l'ID de Housing, on accède au ménage dans Household avec l'attribut HousingID. Enfin, l'accès à une personne avec l'attribut ID de Household se fait avec IDHousehold dans la base Individual

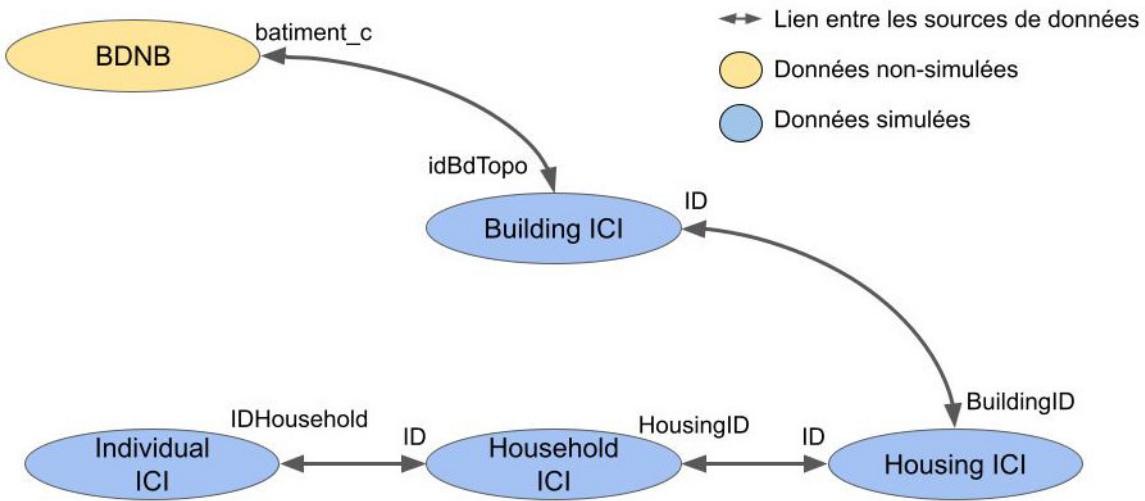


FIGURE 3.4 – Interconnexion entre la BDNB et les données de la population synthétique ICI

3.2 Analyse fonctionnelle

Le diagramme fonctionnel permet de comprendre le comportement de l'application lorsqu'un utilisateur interagit avec ses différentes fonctionnalités.

3.2.1 Diagramme d'activité

Ce diagramme présente les différents points d'entrée des fonctionnalités de l'application et montre comment elles réagissent avant d'envoyer le résultat à l'utilisateur. Voici une description des points importants de l'application :

- Au démarrage, toutes les données nécessaires à une première interaction avec l'utilisateur sont chargées dont notamment les fichiers shp en geojson et les csv en liste. Par conséquent l'application prend un peu de temps à démarrer.
- Lors d'un clic sur un bâtiment, son id de la base bdnb est récupéré et lié à une autre base par id ou par intersection spatiale. Ces informations sont ensuite distribuées dans les différentes couches.
- L'utilisateur a la possibilité d'explorer les données source brute et de découvrir les différents attributs existants et leur distribution spatiale.
- L'ajout de nouvelle base géométrique et tabulaire est aussi possible en déposant soit un shapefile ou en faisant une jointure avec l'une des couches actives.

L'interaction avec différentes fonctionnalités est décrite dans le diagramme suivant.

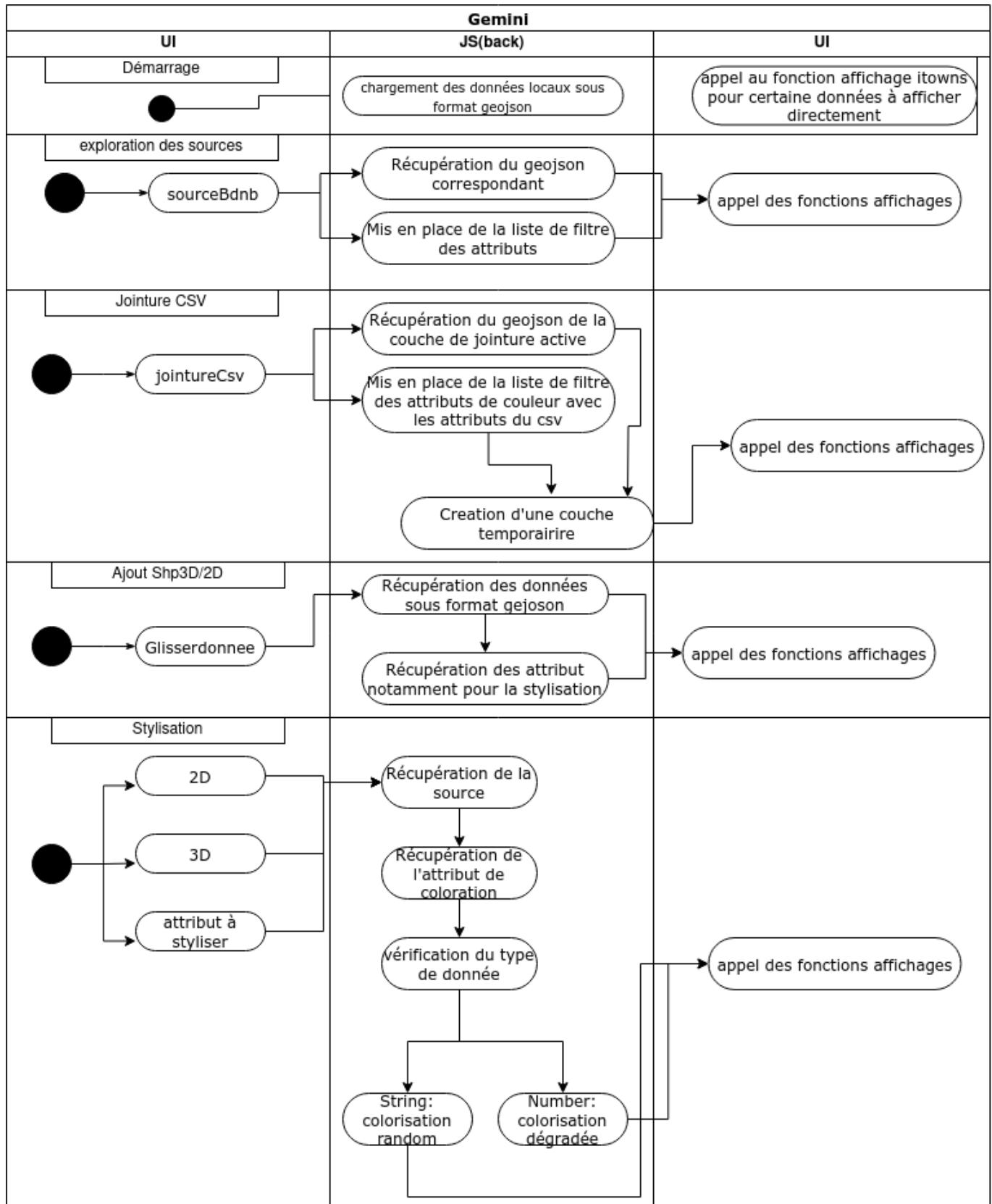


FIGURE 3.5 – Diagramme d'activité

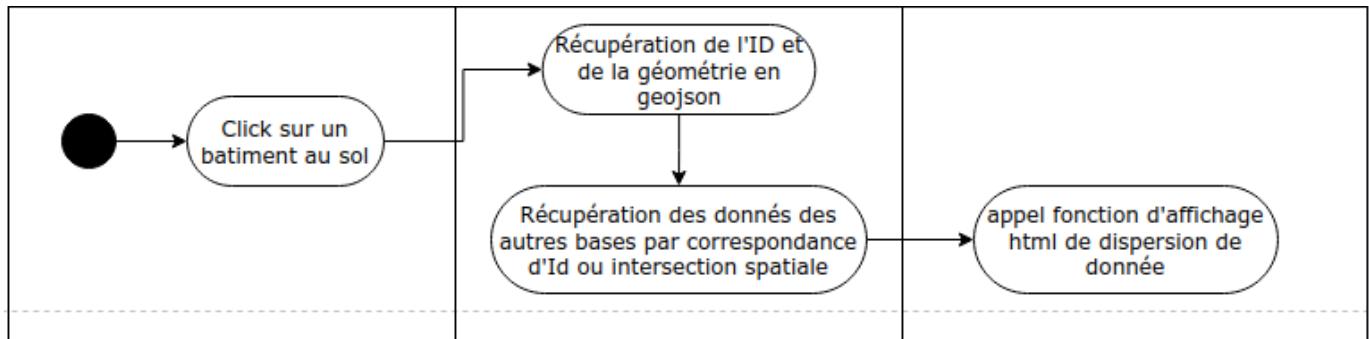


FIGURE 3.6 – Diagramme d'activité

3.3 Choix techniques

3.3.1 Langage de développement et bibliothèques principales

Une des contraintes de notre projet était d'utiliser **iTown**s, une librairie **JavaScript** libre de visualisation de données géospatiales. Notre projet était donc destiné à être un site web. Toutes les librairies que nous avons utilisées au cours du projet sont open source.

Nous avons hésités à utiliser le framework **Vue.js**, mais le manque de familiarité de certains membres de l'équipe avec celui-ci nous a finalement décidés à ne pas en l'utiliser.

Nous avons utilisés **npm** (de **Node.js**) pour gérer nos dépendances, étant donné sa simplicité d'utilisation et le fait qu'il soit largement répandu.

Ce projet est aussi utilisé pour nous noter sur les cours d'intégration continue sur Git. Nous utilisons donc un logiciel pour lancer une analyse statique du code et un logiciel lançant les tests unitaires. Pour le premier, nous avons choisi **ESLint**, ce qui était en cohérence avec la librairie iTowns, qui l'utilise aussi. Pour le second, nous avons choisi **Jest**, parce qu'il est assez facile à prendre en main.

Enfin, nous avons utilisés **Parcel.js** pour lancer un serveur local et constater nos modifications à chaque sauvegarde des fichiers sources ainsi que **Bootstrap** et **Chart.js** pour gagner du temps de développement au moment de rendre notre interface responsive.

3.3.2 Environnement de travail

Étant donné que ce projet s'est déroulé durant une période chargée en manifestations et étant donné les plannings de chacun, nous nous sommes accordés pour être assez libre au niveau du télétravail. La moitié de l'équipe passait environ un jour par semaine à travailler depuis chez soi. Nous avons donc fait en sorte que le projet puisse fonctionner sous n'importe quel l'environnement : Windows et Ubuntu (qui sont les plus répandus). Seul Jest n'a pas pu être lancé sur Windows, ce qui n'a pas posé problème puisqu'il est lancé automatiquement dans un container par GitHub lors de chaque push ou pull request. Nous avons tout de même ajouté un dockerfile pour permettre à des gens qui voudraient tester le logiciel localement sans installer Node.js et les autres librairies nécessaires directement sur leurs ordinateurs, ou au cas où quelqu'un aurait des soucis d'installation.

Pour développer le code, nous avons tous utilisés **Visual Studio Code**, par habitude et pour son intégration de Git.

Notre logiciel de gestion de version a été Git, et nous nous sommes servis d'un dépôt distant GitHub pour pouvoir utiliser l'intégration continue et déployer le site en ligne via GitHub Pages, à partir de notre branche main (branche de production stable).

3.3.3 Sources en données

Après une semaine de recherche de sources de données, nous avons convenus avec nos commanditaires d'axer le programme autour des bâtiments et de nous servir de la Base de Données Nationale des Bâtiments (BDNB) comme base principale, à laquelle nous avons joint d'autres bases intéressantes autour des thèmes : Population, Administratifs, Gestion de crise et de Environnement. Ces bases sont : la BDTopo, la base de population de l'INSEE, une base de données simulées correspondant à la population synthétique, les territoire à risque important inondation et OpenStreetMap.

Étant donné que plusieurs sources ne possédaient pas d'API (comme la BDNB dont l'API est en réalisation) et par commodité, nous avons choisi de télécharger les données et de les stocker sur notre serveur, dans notre site web.

PRÉSENTATION DE L'OUTIL

Lorsque les utilisateurs se dirigent vers notre logiciel, ils sont accueillis par une interface simple et intuitive.

4.1 La vue d'ensemble

La vue d'ensemble de notre logiciel sera un aperçu visuel de tous les bâtiments disponibles pour l'utilisateur. Cette vue d'ensemble peut être affichée en 2D ou en 3D, selon les préférences de l'utilisateur. Ils pourront zoomer sur les bâtiments et cliquer sur ceux-ci pour accéder à une vue plus détaillée. Notre interface utilisateur est visible sur l'image ci-dessous :



FIGURE 4.1 – Interface

4.2 La vue détaillée

Le cadre rouge va permettre de réaliser plusieurs actions : "Données liées à l'objet sélectionné" va vous permettre de visualiser les différentes données disponibles ainsi que leur provenance.

Une fois que les utilisateurs ont choisi un bâtiment, ils accéderont à une vue détaillée qui leur permettra d'explorer le bâtiment en profondeur. Cette vue détaillée sera également disponible en 2D ou en 3D et permettra aux utilisateurs de s'informer sur les données en relations avec le bâtiment sélectionné.

Lorsque vous cliquez sur "Données liées à l'objet sélectionné", vous allez accéder à d'autres menus :

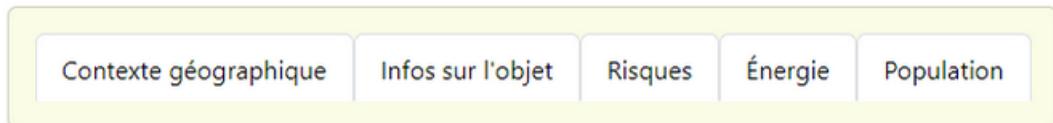


FIGURE 4.2 – Navbar

4.3 Les renseignements complémentaires

Le but du projet était également de simplifier l'accès à la donnée.

"En savoir plus" va vous permettre d'accéder à des informations relatives aux sources de données ainsi que sur le projet.

4.4 Les options de personnalisation

Pour s'adapter aux préférences de chaque utilisateur, votre interface proposera des options de personnalisation telles que la couleur en fonction de l'attribut désiré.

"Style" vous permettra d'appliquer une stylisation aux objets (ici les bâtiments).

4.5 Les outils de navigation

Pour une meilleure visualisation au sein de l'interface nous avons implémenté des boutons de navigation pour faciliter la navigation.

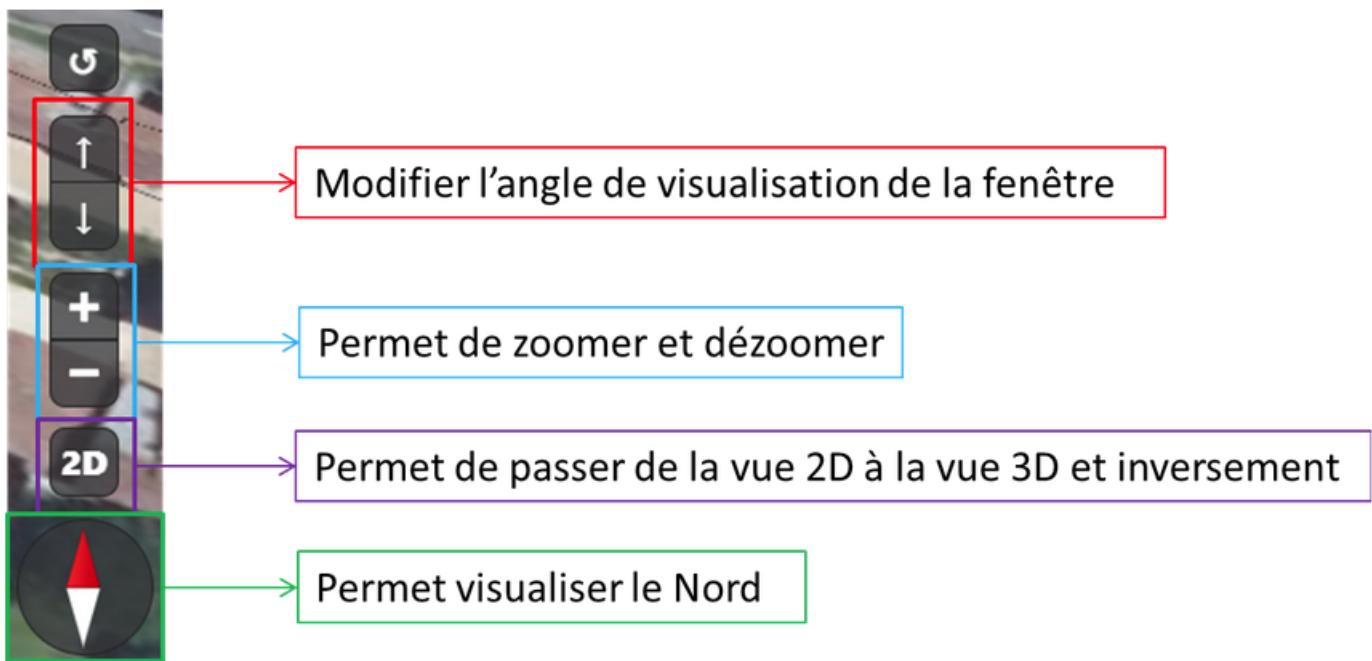


FIGURE 4.3 – navigations

Présent dans la barre de navigation. La possibilité de se déplacer sur le 11ème arrondissement de Paris. Cette fonctionnalité vous permet d'accéder à d'autres données : la population synthétique. Ce sont des données simulées que nous avons uniquement sur cette zone.

4.6 La gestion de données externes

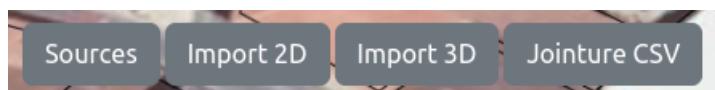


FIGURE 4.4 – Boutons

Sources permet d'afficher les sources de données : BDNB, BD Topo Bâtiments, OSM Bâtiments et Cadastre .

En sélectionnant Import 2D, vous accédez au menu d'import de fichiers 2D.

En sélectionnant Import 3D, vous accédez au menu d'import de fichiers 3D.

LIMITES ET PERSPECTIVES

5.1 Retours utilisateurs

Nous avons envoyé un questionnaire à des utilisateurs testeurs pour avoir des retours sur notre produit. Vous pourrez le trouver à ce lien : Formulaire utilisateur. Grâce à ce Google Form, nous avons pu faire une synthèse de ce que les utilisateurs nous ont envoyés. Nous n'en avons eu que 4 : 2 étudiants et 2 professionnels.

Notre outil a reçu la note de 7.5/10 : les utilisateurs apprécient notre outil parce qu'il y est facile d'y retrouver ce qu'ils cherchent, les noms des boutons sont compréhensibles même pour une personne qui ne connaît pas notre outils. Mais le point le plus important est que c'est un "outil innovant multi point de vue" et que personne ne connaît d'outil qui y ressemble. Cependant, nous avons remarqué que peu de personnes ont sélectionnées un bâtiment avant de sélectionner un onglet. Ce serait sûrement quelque chose à explorer pour les nouvelles versions de l'outil.

Nous avons eu des retours sur les limites et des améliorations que nous pourrions faire sur notre outil mais elles seront listées dans les parties 5.2 et 5.3 de notre rapport.

5.2 Limites

Dans cette section, nous allons présenter les différentes limites de notre logiciel. Elles sont tirées de nos propres observations ainsi que des retours de utilisateurs testeurs.

5.2.1 Limites que nous avons rencontrées

- Nous avons un problème sur l'**import de données**. Nous n'avons pas une seule fonction qui va intégrer les données : nous en avons une différente par source de données.
- Nous avons dû télécharger des **données localement**. Les flux ne fonctionnaient pas et n'étaient pas toujours implémentés. De plus, pour les données de BDNB, une API est en développement. Nous n'avons pas pu l'intégrer.
- Nous avions un problème d'**accès à la documentation iTowns**. Le pare-feu de l'ENSG ne nous permettait pas d'y accéder sur les ordinateurs.
- **Temps consacré pour le projet**.

5.2.2 Limites rencontrées par les utilisateurs

- Notre outil fait preuve de **lenteur** : le temps de chargement est très conséquent à cause du chargement des données locales. En effet, certaines fonctions ne sont pas asynchrones alors qu'elles devraient l'être. Nous avions remarqué ce problème mais c'était d'autant plus flagrant sur la versions déployée sur GitHub Pages.
- La **Localité des données** ne permet pas de toucher le plus grand monde : on ne connaît pas tous Périgueux. On peut donc être facilement perdu si on n'a pas le nom des rues ou si on ne connaît pas la ville.
- Il y a eu un **problème sur des fonctionnalités**. Un utilisateur nous a rapporté que l'import 2D ne fonctionne pas. On ne sait pas d'où le problème provient. De plus, le seul moyen

d'importer le fichier c'est de le faire glisser dans un rectangle. Il faudrait ajouter un bouton d'import pour aller chercher le fichier dans nos dossiers.

5.3 Perspective d'améliorations

5.3.1 Nos propositions générales

Dans cette partie, nous allons vous détailler les différentes perspectives d'améliorations auxquelles nous avons pensé au tout au long de notre projet.

- **Export automatique de carte**. Le but serait de rajouter un onglet qui permettrait de sélectionner ce que l'on souhaiterait visualiser dans une carte : l'emprise, la stylisation voulue, la légende, l'échelle, la flèche du Nord... On pourrait choisir comment positionner les différents objets mais on pourrait aussi choisir des positionnements par défaut ou importer sa propre stylisation (comme QGIS).
- **Informations territoriales** comme les arbres, les routes, les feux,... Cela permettrait d'avoir plus de contexte autour des bâtiments.
- **Import d'objets 3D Géolocalisés**. Cette idée permettrait d'importer un bâtiment BIM (ou autre objet 3D) dans l'outil. S'il est géolocalisé, il se placera directement à sa localité.
- **Sélection d'autres objets que les bâtiments** dans la partie concept sélectionné. Dans notre outil, nous avons une partie "Concept sélectionné". Pour l'instant, cette zone est uniquement textuelle mais sera vouée à devenir une liste déroulante avec tous les concepts que l'on peut sélectionner (ex : Végétation, Routes, Cours d'eau).
- **Affichage thématique** par concept sélectionné. Dans notre outil, nous avons une partie "Concept sélectionné". Pour l'instant, cette zone est uniquement textuelle mais sera vouée à changer (voir ci-dessus). La visualisation ainsi que les onglets se modifieront en fonction de ce qui est choisi. Par exemple, si l'on choisit "Végétation", l'onglet "Population" disparaîtra et laissera place à un autre onglet.
- **Affichage d'autres thèmes** comme les cartes de chaleur, la gestion de crise, l'aménagement du territoire,.... Les différents thèmes sont encore à définir mais le Comité de suivi ainsi que le comité utilisateur aideront à en trouver de nouveaux.
- **Licences des sources de données**. Il s'est avéré que les différentes producteurs de données en proposent avec des licences différentes. Il serait pertinent de rajouter les logos ou le nom des différentes licences qui sont liées à chaque sources de données (dans le menu "En savoir plus" ou dans le info).
- **Description des attributs**. Un tableau qui décrit les différents attributs disponibles a été fait mais nous n'avons pas pu l'intégrer à notre outil. Vous pouvez le consulter en Annexe 7

5.3.2 Notre proposition pour la configuration

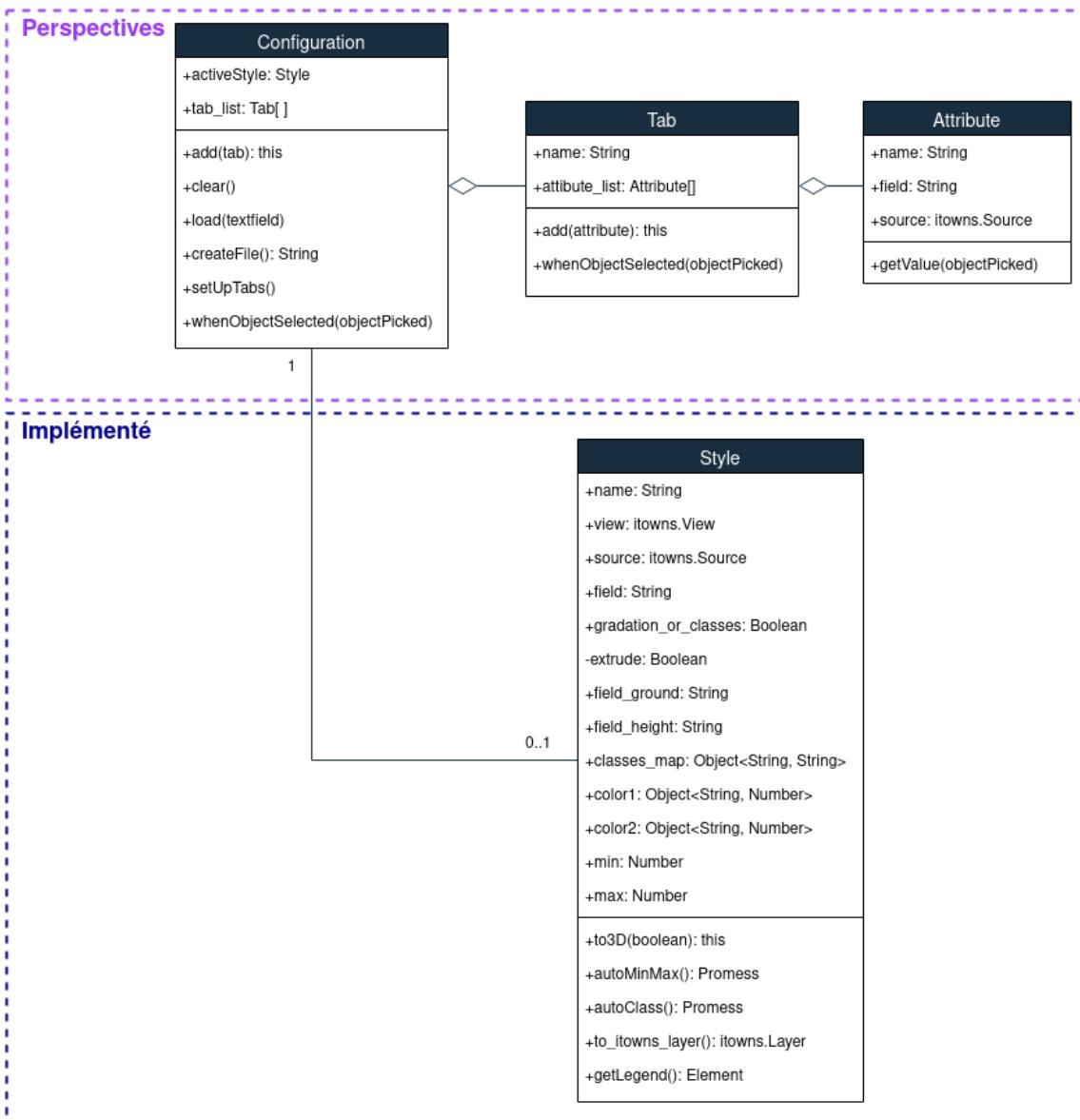


FIGURE 5.1 – Diagramme de classe avec Configuration

Comme vous pouvez le voir ci-dessus, nous avons imaginé une structure pour la configuration, que nous n'avons malheureusement pas eu le temps d'implémenter.

L'idée serait, à terme, de pouvoir exporter une configuration composée du style et des informations affichées sur notre site mais aussi de pouvoir en importer une. Nous devrions donc refactoriser notre code, pour que les onglets d'informations soient créés puis remplis lors d'une sélection à partir de la description de l'état désiré contenue dans la configuration.

Chaque attribut appartiendrait à la classe *Attribute*. Il aurait un nom, le nom de son champ dans sa source, et sa source (exemple : "Hauteur", "bdtopo_bat_hauteur_mean" et la source iTowns de la BDNB). Une méthode *getValue* permettrait de récupérer la valeur de ce champs pour un objet sélectionné.

Chaque onglet appartiendrait à la classe *Tab*. Il aurait un nom et une liste d'attributs (exemple : "Risques", et l'attribut de risque radon et celui de risque argile). Une méthode *whenObjectSelected* permettrait de remplir l'onglet avec les valeurs de l'objet sélectionné lors d'une sélection, en utilisant

`getValue` sur chaque attribut.

Enfin, la configuration serait un singleton qui contiendrait (dans un premier temps) le style actif et la liste des onglets. Une méthode `createFile` créerait le fichier de configuration et renverrait la référence (`href`) du fichier pour pouvoir l'attribuer à un lien de téléchargement. Une méthode `load` permettrait de modifier le `activeStyle` et `tab_list` pour correspondre au contenu du champs de texte donné en entrée. Une méthode `setUpTabs` permettrait de créer les onglets, utilisé au chargement du site ou à l'import d'une autre configuration. Une méthode `whenObjectSelected` remplirait tous les onglets lors d'une sélection, en appelant `whenObjectSelected` sur chaque onglet.

5.3.3 Proposé par les utilisateurs

- Il nous a été proposé de rajouter les **valeurs des sources des données**. Nous n'avons pas pu le rajouter au niveau des informations sur les données mais ces informations sont disponibles sur le site des producteurs de données (dans le menu "En savoir plus").
- Il a aussi été dit que le **zoom** était trop important en 2D : il faudra donc le modifier et avoir une vue plus large de la ville.
- On nous a fait remarquer que la **transition vers Paris** n'était pas très fluide ni attractive. Il faudra peut être faire une transition vers les lieux souhaités comme le fait déjà Google Earth.
- Il est ressortit qu'une **comparaison entre dates** serait intéressante (comme l'option "Remonter le temps" du Géoportail). Il faudrait importer différents jeux de données (vectoriels et Raster) pour implémenter cette fonctionnalité.
- **Simulation.** Les seules données de simulations sont la Population synthétique qui nous a été fournie par nos commanditaires. Nous n'avons pas d'autres scénarios. Il faudra faire plus de recherches là-dessus.

5.4 Difficultés rencontrées

5.4.1 Difficultés liées au projet

Collecte de données

L'obtention de données à jour et précises pour les modèles numériques peut être difficile, en particulier lorsque les données proviennent de plusieurs sources disparates. Aussi, afin de connecter les bases entre elles, la sélection d'une base mère est importante.

Intégration des données

Les données peuvent provenir de différentes sources et être stockées sous différents formats, ce qui rend difficile leur intégration dans un modèle numérique unique et cohérent. Certaines bases de données ont des attributs en commun avec d'autres bases et peuvent créer des associations robustes. Alors que d'autres bases ne le sont pas. Pour ce dernier, il faut procéder à une intersection spatiale aux bases que l'on souhaite connecter. Si plusieurs objets se croisent, le centroïde est calculé. Ensuite, le centroïde le plus proche est utilisé pour la liaison entre les bases.

Protection des données

Enfin, la confidentialité peut également être une préoccupation majeure lors de la création de jumeaux numériques. Il est important de s'assurer que les données sont stockées et utilisées en toute sécurité et conformément aux lois et réglementations applicables en matière de protection des données. De plus, cela pose problèmes au niveau de la gestion d'accès aux données et de la recombinaison des bases entre elles, qui brasse les données de plusieurs sources. Dans le cadre de ce projet, les bases utilisées sont open source mais de licences différentes (par exemple, Open Street Map (OSM) et la licence de l'IGN).

5.4.2 Difficultés liées à l'organisation

Le projet est un projet de recherche permettant de fournir une base de réflexion pour le projet CEREMA-IGN-INRIA sur les jumeaux numériques du territoire. Des difficultés ont été rencontrée pour l'interprétation des demandes du client, par exemple le choix de bases de données. Dans un premier temps, nous avons essayé d'utiliser des flux et par la suite nous avons travaillé avec des données en local.

Étant donné que ce projet nécessitait de la recherche et du temps de réalisation pour ce projet, la méthodologie AGILE s'amène à être laborieuse. Pour mener à bien le projet, l'organisation choisie repose sur certains principes des méthodes agiles. A travers quelques « stand-up meeting » dans la semaine, cela permettait d'avoir une vision sur l'avancée globale du groupe au sein du projet. De plus, pour répondre aux demandes des commanditaires, plusieurs réunions ont été programmées. En effet, une réunion hebdomadaire, avec l'ensemble du groupe pour présenter l'outil et l'implémentation faite durant le sprint, et une autre réunion hebdomadaire entre le PO, Scrum Master et les commanditaires pour valider les tâches du sprint en cours et s'assurer que ces tâches faisaient parties des attentes voulues.

En ce qui concerne le développement, la prise en main d'Itowns ainsi que l'accès aux données sources, comme l'affichage de couche avec le même identifiant a posé problème. Par ailleurs, certains développements ont pris beaucoup de temps et ont durés plus de temps que prévu. Comme nous n'avions pas une liste de développements définie, nous avons donc pu finir tous nos développements et nos idées pour le produit se sont retrouvées dans les perspectives d'améliorations.

CONCLUSION

6.1 Retour d'expérience

- Nelly (PO) : Ce projet a été compliqué à démarrer : c'est un projet de recherche avec un sujet très vaste. Même si le début a été compliqué, nous avons réussi à produire un outil fonctionnel et attractif. Je suis contente d'avoir pu participer au projet Gemini Numérique même si le travail de Product Owner a été très compliqué surtout en terme d'organisation au sein de l'équipe. L'équipe n'était pas tout le temps soudée mais on a réussi à finir le projet à temps même avec ce problème.
- Samuel : Le jumeau numérique est un sujet récent et vaste sur lequel il était intéressant de s'informer et de travailler. Je suis globalement content du produit livré qui ne devait être qu'un prototype. Nous avons fait un nombre important de recherches aussi bien en information qu'en moyens techniques de réalisation. Ce projet m'a permis de réaliser les points sur lesquels je dois encore travailler avant de rentrer dans le monde professionnel.
Plus globalement, je pense que nous avons mis du temps à nous mettre en marche. Cela était majoritairement dû au manque d'une base concrète à partir de laquelle travailler. Un atelier avec les commanditaires nous aurait permis de construire une première ébauche plus proche de l'interface attendue et du besoin.
- Enzo (Scrum Master) : Une des plus grandes difficultés de ce projet, pour moi, a été de maintenir l'organisation de l'équipe. En effet, une des particularités de ce projet était ses objectifs flous : nous devions imaginer le prototype de jumeau numérique qu'il aurait été possible d'obtenir à la fin des six semaines de projet. Il a donc été dur d'essayer de maintenir le cap de l'équipe dans une même direction, quand chacun a tendance à dériver vers sa propre vision du résultat. Je pense que notre rendu aurait pu être mieux structuré, mais je reste satisfait du travail produit, et espère qu'il saura se montrer utile dans la suite du projet de jumeau numérique France entière.
- Jessy et Gaëtan : Ce projet était très enrichissant du côté technique et nous a sensibilisé sur la difficulté de manipulation de données provenant de différentes sources et surtout sur la manière de les connecter entre elles. En effet, cela nous apporte une vision innovante sur la visualisation et la diffusion de données.

6.2 Conclusion

En résumé, le prototypage d'un jumeau numérique d'une zone géographique permet de connecter plusieurs bases de données pour fournir un modèle numérique précis des différents aspects de la zone concernée. Cela permet une prise de décision plus éclairée et une optimisation des ressources. En outre, le prototype aidera également à identifier les problèmes potentiels tels que les inondations avant qu'ils ne deviennent graves, contribuant ainsi à améliorer la durabilité de la communauté. La combinaison de nombreuses sources de données vous donne un outil riche en informations qui vous donne accès à plusieurs métiers sans avoir besoin de plonger dans des fondamentaux spécifiques. Par ailleurs, ce projet a suscité quelques réflexions dans la préparation du projet CEREMA-IGN-INRIA. En effet, accorder l'accès à ces données en accordant différentes licences à différentes bases de données

reste délicat.

En conséquence, le jumeau numérique du territoire a le potentiel de transformer la façon dont les villes et les communautés sont conçues et gérées, les rendant plus durables et efficaces.

Enfin, l'interconnexion des données peut également aider à améliorer la collaboration entre différents acteurs en permettant de partager plus facilement des données et des informations entre eux.

Liste des figures

| | | |
|------|--|----|
| 1.1 | Diagramme d'utilisation | 7 |
| 2.1 | Matrice de risques | 8 |
| 2.2 | Organisation générale | 8 |
| 2.3 | Planning des Sprints | 9 |
| 3.1 | Diagramme de package | 10 |
| 3.2 | Diagramme de classe | 11 |
| 3.3 | Interconnexion entre les bases de données utilisées | 12 |
| 3.4 | Interconnexion entre la BDNB et les données de la population synthétique ICI | 13 |
| 3.5 | Diagramme d'activité | 14 |
| 3.6 | Diagramme d'activité | 15 |
| 4.1 | Interface | 17 |
| 4.2 | Navbar | 18 |
| 4.3 | navigations | 19 |
| 4.4 | Boutons | 19 |
| 5.1 | Diagramme de classe avec Configuration | 22 |
| 7.1 | Diagramme d'utilisation | 29 |
| 7.2 | Première version de la maquette | 30 |
| 7.3 | Contexte Géographique | 30 |
| 7.4 | Informations sur l'objet | 30 |
| 7.5 | Risques | 30 |
| 7.6 | Energie | 31 |
| 7.7 | Population | 31 |
| 7.8 | Stylisation des bâtiments | 31 |
| 7.9 | Déplacement sur le 11ème arrondissement de Paris | 31 |
| 7.10 | Configuration du projet | 32 |
| 7.11 | Exploration des sources de données | 32 |
| 7.12 | Import de fichiers ZIP 2D | 32 |
| 7.13 | Import de fichiers ZIP 3D | 33 |
| 7.14 | Jointure de fichiers CSV avec la BDNB | 33 |
| 7.15 | Description des attributs | 34 |

ANNEXES

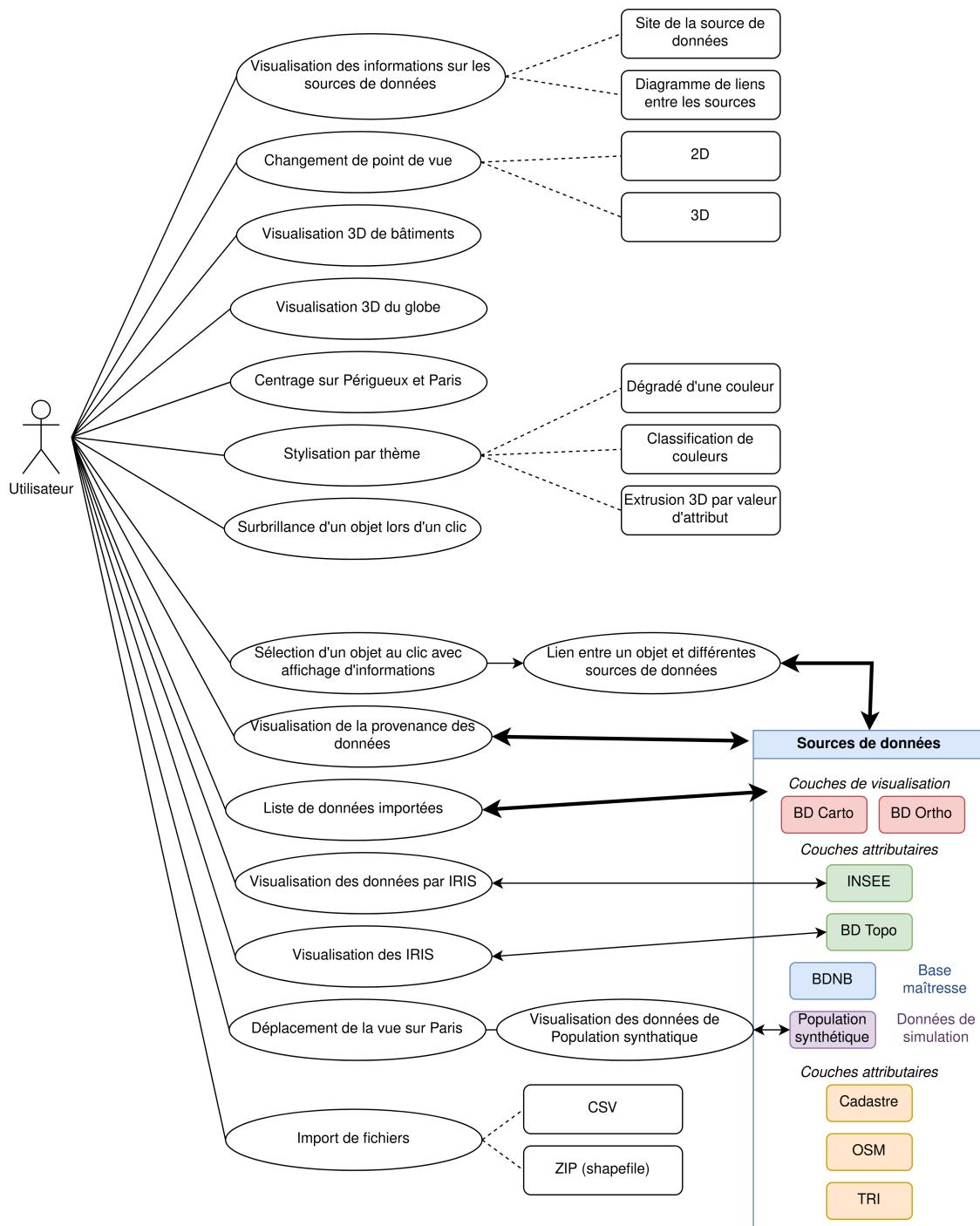


FIGURE 7.1 – Diagramme d'utilisation

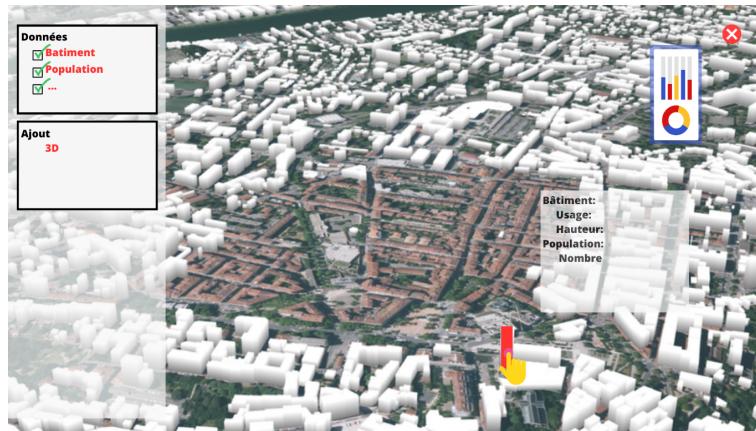


FIGURE 7.2 – Première version de la maquette

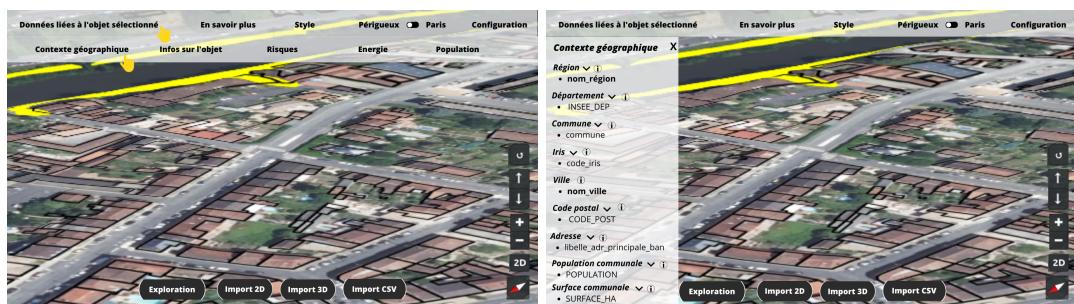


FIGURE 7.3 – Contexte Géographique

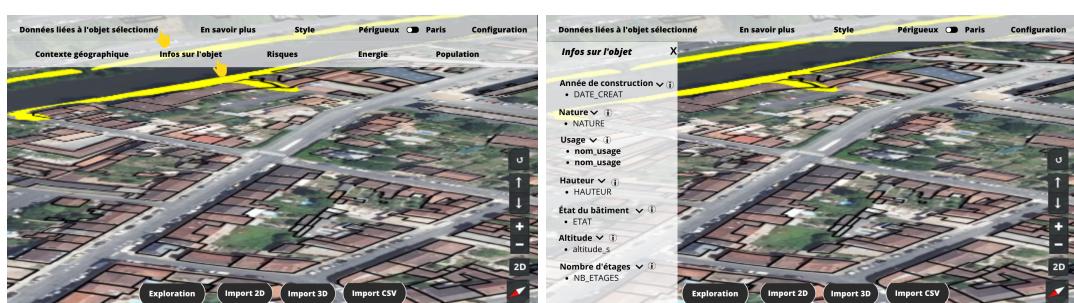


FIGURE 7.4 – Informations sur l'objet



FIGURE 7.5 – Risques



FIGURE 7.6 – Energie

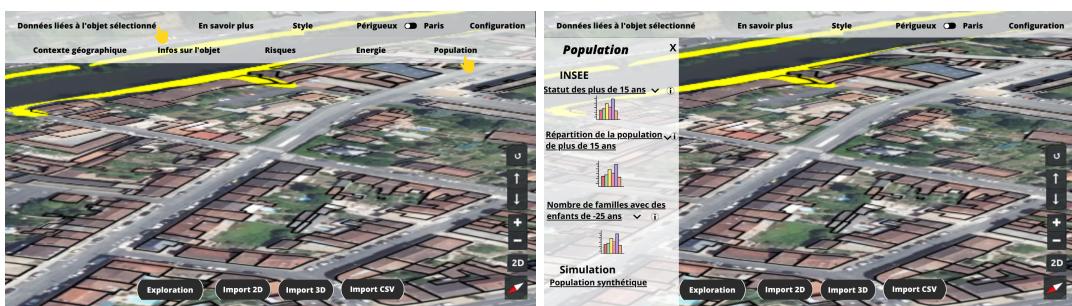


FIGURE 7.7 – Population



FIGURE 7.8 – Stylisation des bâtiments



FIGURE 7.9 – Déplacement sur le 11ème arrondissement de Paris



FIGURE 7.10 – Configuration du projet



FIGURE 7.11 – Exploration des sources de données



FIGURE 7.12 – Import de fichiers ZIP 2D



FIGURE 7.13 – Import de fichiers ZIP 3D



FIGURE 7.14 – Jointure de fichiers CSV avec la BDNB

| Nom du bouton | Catégorie affichage | Nom affiché | Champs dans les couches | Description |
|----------------------------------|--|--|---|---|
| Contexte géographique | Adresse | Adresse | libelle_adr_principale_ban | Adresse de l'objet |
| | Fidélité de l'adresse | Fidélité de l'adresse | libelite_cr_adr_niv_1 | (dans info ?) Fidélité de la localisation de l'adresse |
| | Code postal | Code postal | BDC_CODE_POST | Code postal du bâtiment |
| | Région | Région | NY est pas | Région |
| | Code INSEE | Code INSEE | code_inrs | < Note Rappelons pour l'information Statistique > Zones définies par l'INSEE pour les besoins des recensements sur l'ensemble des communes de plus de 10 000 habitants et la plupart des communes de 5 000 à 10 000 habitants |
| | Ville | Ville | A prendre de l'adresse libelle_commune_insee ou BDC_NOM ou C_commune | Ville où est localisé le bâtiment |
| | Commune | Commune | | Commune où est localisé le bâtiment |
| | Département | Département | A voir où s'il y est | Département |
| | Nom de département | Nom de département | code_departement_insee ou BDC_INSEE_DEP | Nom de département |
| | Population communale | Population communale | BDC_POPULATION | Nombre d'habitants de la commune |
| Surface communale | Surface communale | Surface communale | BDC_SURFACE_A | Surface en hectares de la commune |
| | Toponymie | Toponymie | bdtopo_zsa_1_toponymie | |
| | Code INSEE | Code INSEE | code_commune_insee | Code INSEE |
| Informations générales | Date de construction | | BDC_DATE_CREAT ou f0_bt_annee_construction | Date de construction du bâtiment |
| | État de bâtiment | | BDT ETAT Ou bdtopo_bat_l_etaf | Etat dans lequel est le bâtiment : en service, en construction, en projet, en mane |
| | Nature | | BDT_NATURE_OU bdtopo_bat_l_nature | Nature de l'objet |
| | Usages | Usages | f0_bt_usage_niveau_1_bt BDT USAGE1 ou bdtopo_bat_l_usage_1 BDT USAGE2 OU bdtopo_bat_l_usage_2 bdtopo_bat_altitude_col_mean ou altitude_s bdtopo_bat_hauteur_mean ou BDT HAUTEUR | Usage(s) du bâtiment : commerce, logement, ... |
| Bâtiment | Altitude au sol | | | Altitude du sol (de l'objet) |
| | Hauteur du bâtiment | | | Hauteur du bâtiment |
| Caractéristiques techniques | Nombre étages | | BDT_NB_ETAGES | Nombre d'étages du bâtiment |
| | Risque angle | | Niveau de risque angle (angles_alea) | Niveau de risques angle (faible, fort, moyen) |
| Risques | Risque radon | | Niveau de risque radon (radon_alea) | Niveau de risques radon (faible, fort, moyen, catégorie 1, catégorie 2, catégorie 3) |
| | | | dpe_arrete_2021_nb_classe_consumo_energie_arrete_2 012 dpe_nb_classe_ener_a dpe_nb_classe_ener_b dpe_nb_classe_ener_c dpe_nb_classe_ener_d dpe_nb_classe_ener_e dpe_nb_classe_ener_f dpe_nb_classe_ener_g dpe_nb_classe_ener_nc dpe_nb_classe_ges_a dpe_nb_classe_ges_b dpe_nb_classe_ges_c dpe_nb_classe_ges_d dpe_nb_classe_ges_e dpe_nb_classe_ges_f dpe_nb_classe_ges_g dpe_nb_classe_ges_nc | Histogramme sur la répartition des notes énergétiques des logements (de A à G) |
| Énergie | Histogramme des notes énergétiques des logements | Notes énergétique des logements | | Histogramme sur la répartition des notes énergétiques par logements d'un bâtiment (de A à G) |
| | Histogramme des notes GES des logements | Notes Gaz à effet de serre des logements | | Histogramme sur la répartition des notes de Gaz à effet de serre par logements du bâtiment (de A à G) |
| | Consommation d'énergie | Note moyenne | dpe_class_consumo_ener_mean | Note moyenne de la consommation énergétique du bâtiment |
| | Moyenne | | dpe_consumption_mean | Consommation énergétique moyenne du bâtiment |
| Émission de Gaz à effet de serre | Écart-type | | dpe_consumption_std | Dispersion des valeurs de consommation énergétique du bâtiment. Il permet de savoir, si ces notes sont éloignées, s'il y a une sureconsommation dans un logement. |
| | Note moyenne | | dpe_class_estim_gas_mean | Note moyenne de l'émission de Gaz à effet de serre du bâtiment |
| | Moyenne | | dpe_estimation_gas_mean | Moyenne de l'émission de Gaz à effet de serre du bâtiment |
| Matériaux d'isolation | Écart-type | | dpe_estimation_gas_std | Dispersion des valeurs d'émission de Gaz à effet de serre du bâtiment. Il permet de savoir, si ces notes sont éloignées, s'il y a une suremission dans un logement. |
| | Murs | | dpe_logtype_mur_pos_isol_ext ou dpe_arrete_2021_type_isolation_mur_exterieur (adefip202008_logtype_base_type_isolage) | Matériaux d'isolation des murs du bâtiment |
| | Vitres | | dpe_logtype_vit_pos_isol ou | Matériaux d'isolation des vitres du bâtiment |
| | Plancher | | dpe_arrete_2021_type_isolation_plancher_bas | Matériaux d'isolation des planchers du bâtiment |
| | Toiture | | dpe_logtype_ph_pos_isol ou dpe_arrete_2021_type_isolation_plancher_haut | Matériaux d'isolation de la toiture du bâtiment |

FIGURE 7.15 – Description des attributs