

# Démineur Durable

*Projet géonumérique 2020*



*Projet Géonumérique 2020*



*Mathilde ARGOUD, Axel FOURNEYRON, Lucas JEAN-JACQUES, Corentin MARTINEZ*

## Table des matières

I.	Introduction .....	3
II.	Définir notre application.....	4
A.	Construire notre message.....	4
1.	Une idée centrale qui permet l'intégration d'une multitude de thématiques .....	4
2.	Recentrage du projet.....	5
B.	L'application : l'interactivité ludique au cœur de notre message.....	6
III.	Analyses et gestion des données .....	8
A.	Pré-traitements des données .....	8
1.	Quelles sont les données utilisées ? .....	8
2.	Transformation des formats.....	8
B.	Analyses des données.....	9
1.	Analyse de la pollution de l'air avec les PM10.....	9
2.	Analyse des structures sensibles .....	10
3.	Analyse de la pollution à proximité des structures sensibles .....	10
C.	Carroyer le Grand Lyon : support de l'information et du jeu.....	12
1.	Quel carroyage ?.....	12
2.	Analyse à l'échelle du Grand Lyon .....	13
3.	Analyse locale sur une emprise choisie.....	13
D.	Structuration et modèle de données.....	15
1.	Première version du modèle de données .....	15
2.	Modèle de données final .....	15
IV.	Fonctionnement de l'application.....	16
A.	Principe général.....	16
Le parcours de l'utilisateur dans l'application .....	17	
1.	La page d'accueil .....	17
2.	La page de visualisation .....	18
3.	La page de jeu .....	19
V.	Développement de l'application.....	23
A.	Technologies utilisées.....	23
1.	Fonctionnement technique de l'application.....	23
2.	Utilité du module Flask.....	24
3.	Une appropriation difficile du module Flask .....	24

4.	Requêtes SQL dans Flask.....	25
B.	Fonctionnalités des pages .....	27
1.	Page “Visualisation” .....	27
2.	Page “Jouer” .....	28
C.	Réflexion graphique .....	30
1.	Ergonomie de l’application .....	30
2.	Double légende de la carte de jeu.....	33
3.	Gestion graphique de l’application.....	34
VI.	Méthodologie et gestion du projet.....	36
A.	Stratégie d’organisation .....	36
B.	Planning du projet et de l’atelier .....	36
C.	Charge de travail.....	37
D.	Outils méthodologiques utilisés .....	39
VII.	Défis rencontrés et perspective de l’application .....	40
A.	Difficultés particulières .....	40
a)	La question des données .....	40
b)	Problèmes techniques.....	40
c)	La définition des enjeux et des fonctionnalités de l’application .....	41
d)	La complexité de la gestion de projet .....	41
B.	Évolutions possibles de l’application .....	42
VIII.	Retour sur le projet .....	43
IX.	Sources .....	44
A.	Webographie .....	44
B.	Bibliographie.....	45
X.	Annexes .....	45
A.	Liste détaillée des données explorées .....	45
B.	Analyses comparatives entre maillages 100, 200 et 500m.....	46
C.	Planning générale du projet.....	47
D.	Planning prévisionnel de l’atelier .....	51
E.	Planning effectivement réalisé atelier.....	52
F.	Maquette de l’interface.....	53
G.	Table des figures.....	56

# I. Introduction

Le Démineur durable est une application web cartographique, interactive et ludique qui a pour objectif de sensibiliser le citoyen soucieux ou intrigué de l'environnement à la problématique de la pollution de l'air dans la Métropole de Lyon. Cette application a été développée dans le cadre du Projet Géonumérique du Master Géographies Numériques, qui avait pour thématique générale l'anthropocène.

La protection de l'environnement est un sujet qui prend de plus en plus d'importance dans le débat public. Nous avons choisi de mettre en avant la pollution de l'air, qui est un phénomène auquel de plus en plus de citoyens sont exposés. Chacun peut ressentir au quotidien les effets de la pollution, notamment lors des pics de concentration. C'est aussi un sujet qui peut être clivant, alors que les pouvoirs public commencent à prendre des mesures de lutte contre la pollution qui impactent les citoyens dans leur vie quotidienne.

Nous avons souhaité apporter un éclairage particulier sur cette thématique en croisant les données de pollution de l'air avec la proximité de structures telles que les écoles, les hôpitaux ou encore les parcs publics. C'est une manière de montrer l'impact de cette nuisance sur les populations parmi les plus fragiles de la société.

Le choix innovant que nous avons fait est de permettre au citoyen d'explorer les données en jouant au jeu du démineur. Le citoyen ne se contente ainsi pas d'explorer la carte en faisant apparaître des info-bulles informatives. Le recours au jeu permet de lui faire découvrir la donnée petit à petit et de mieux comprendre les enjeux de la pollution sur son territoire.

Ce rapport vise à présenter plus en détail le cheminement de notre réflexion quant au choix de notre thématique et des données, puis de présenter notre organisation en gestion de projet, ainsi que nos choix techniques lors du développement de l'application. Pour finir, nous reviendrons sur toute l'étendue du projet avec un retour d'expérience critique.

## II. Définir notre application

Du début du projet géonumérique courant octobre 2019 à l'arrêt de la phase exploratoire et à la définition définitive du synopsis de notre application à la mi-décembre 2019, notre projet a énormément évolué sous l'influence des idées qui émergeaient du groupe et des échanges avec les enseignants.

### A. Construire notre message

Nous avons tout d'abord exploré les différentes données existantes sur un panel complet des thématiques liées à l'environnement, et qu'il aurait été intéressant de réunir dans un ensemble logique autour du jeu du démineur. L'immense étendue des possibles nous a rapidement imposé de réduire notre projet à une thématique précise, dont le choix et l'orientation a été débattu au sein du groupe.

#### 1. Une idée centrale qui permet l'intégration d'une multitude de thématiques

L'idée du démineur est le concept central qui a rapidement émergé de nos échanges. Le démineur est un jeu célèbre et relativement facile à jouer, sinon à expliquer. Il permet d'offrir une entrée ludique dans l'exploration et la compréhension des données par l'utilisateur. Ce jeu présente également l'avantage d'être adaptable à un grand nombre de thématiques.

A l'origine, nous voulions présenter un indicateur général de la qualité de l'environnement lié à trois thématiques générales que sont les changements climatiques et anthropiques et les risques sanitaires liés à l'environnement. A partir de ces thématiques, nos recherches nous ont conduit à explorer un certain nombre de jeux de données, qu'il aurait été intéressant d'incorporer à l'application. En voici quelques-uns (une version plus détaillée est disponible en [annexe A](#)) :

Thématiques	Jeux de données
Changement climatique	Arrêtés de Catastrophes naturelles liées à la sécheresse
	Pluviométrie
Influences anthropiques	Prélèvements d'eau
	Basol (sites et sol pollués)
	Basias
	Base des installations classées
	Concentration annuelle des polluants
	Déchetteries, centres de traitement, méthanisation
	Volume d'achat de pesticides
(Dés)artificialisation des sols	Corinne Land Cover
	RPG
	Surfaces en agriculture bio

## 2. Recentrage du projet

Le premier défi auquel nous avons dû faire face a été celui du trop grand nombre de données que nous pouvions mobiliser par rapport au temps de développement qui nous était accordé. De plus, pour certaines données (notamment celles se rapportant au domaine de l'eau), nous nous sommes rapidement rendu-compte que nous n'avions pas les compétences thématiques pour les utiliser correctement dans l'application.

Cette contrainte nous a obligé à problématiser l'application ainsi que plusieurs données parmi toutes celles que nous avons trouvées, afin de définir le message que l'on souhaitait faire passer au citoyen. Les données que nous allions retenir devaient à la fois être facilement accessibles en open data et être du ressort du quotidien pour la majorité des citoyens afin d'en faciliter la compréhension. Elles devaient pouvoir parler aux personnes sans bagages techniques afin qu'elles ne soient pas effrayées ou réticentes à entrer dans l'application.

Nous avons ainsi réduit notre approche à deux jeux de données principaux : la pollution de l'air avec la concentration annuelle moyenne en PM10, qui sont des types de particules fines d'un diamètre inférieur à  $10\mu\text{m}/\text{m}^3$ , et ce que nous avons appelé les structures sensibles : il s'agit des écoles et collèges, des hôpitaux, et des parcs et jardins publics. Nous avons également l'idée de créer un jeu de données participatif autour de la question des déchets (voire l'annexe A). L'accès aux données autour de la gestion des déchets est très restreint. Le recours à une collecte participative contournerait ce problème et permettrait à l'utilisateur de s'impliquer directement dans le fonctionnement de l'application, sur un sujet, la propreté, qui est de premier plan dans certains quartiers. Cette partie participative n'a finalement pas été retenue du fait de la contrainte temps et d'un doute sérieux sur la qualité des analyses géographiques que nous aurions pu tirer de ces données.

La pollution de l'air est un sujet de plus en plus discuté et à propos duquel les citoyens sont de plus en plus vigilants. C'est un sujet récurrent d'inquiétudes et de débats dans le cadre de notre sensibilité aux enjeux du développement durable. Quelques cartographies interactives ont déjà été réalisées sur le sujet (Association Respire ou Greenpeace), nous avons donc voulu imaginer une autre approche de la question.

L'association Respire a eu l'idée de croiser la localisation des écoles avec les concentrations de pollution de l'air. Regarder les niveaux de pollution à proximité des enfants, qui représente une population particulièrement sensible à ces effets, permet un effet de choc qui interpelle le citoyen. Nous avons souhaité élargir ce critère en prenant en compte d'autres lieux accueillant un public potentiellement plus sensible à la pollution. Le choix a été fait de ne concentrer notre analyse que sur un extrait des différents types de lieux sensibles. Aux écoles, nous avons ajouté les collèges et les hôpitaux, ces derniers accueillent des populations très diversifiées et à risque vis-à-vis de la pollution, de l'enfant à la personne âgée. Les parcs et jardins publics ont également été sélectionnés car ils accueillent familles et sportifs. Tous ces lieux ont été regroupés sous l'appellation de structures sensibles.

## B. L'application : l'interactivité ludique au cœur de notre message

L'apport innovant de notre application repose dans la forte interactivité que nous avons voulu mettre en place. Elle repose sur l'exploration et l'immersion des données via l'intermédiaire du jeu du démineur.

L'objectif final de l'application Démineur durable est de sensibiliser le citoyen aux enjeux de la pollution de l'air sur son territoire par le jeu. Pour gagner la partie, l'utilisateur doit pouvoir s'aider de sa connaissance personnelle et empirique du territoire. Il s'agit ainsi de connaître son territoire pour déminer le terrain, tout en apprenant sur les données et la thématique de manière agréable et ludique. Nous espérons que la présence du jeu stimulera l'envie d'apprendre de l'utilisateur, et qu'ainsi la communication de notre message se fera plus facilement.

L'immersion dans les données est stimulée par un ensemble d'info-bulles, de boutons informatifs et par la double légende. Un autre élément de gamification vient stimuler l'intérêt pour l'utilisateur de jouer davantage qu'une seule partie : il lui est proposé de choisir l'emprise de la grille de jeu. Cela permet de réaliser de beaucoup plus de parties et ainsi de découvrir petit à petit les données sur l'ensemble du territoire. Ajouté à cela le positionnement aléatoire des bombes, il est compliqué de jouer plusieurs fois avec la même configuration de grille. L'utilisateur est alors obligé, s'il veut résoudre plus efficacement les grilles, de comprendre l'analyse en relation avec le fond de carte.

L'interactivité est donc un élément central de notre application puisqu'elle permet d'approfondir la compréhension des données et des thématiques. Il a été nécessaire d'identifier les points de vigilance qui pouvaient ternir les interactions entre l'utilisateur, le jeu et son interface, ainsi que la compréhension de la thématique. Il est essentiel de ne pas perdre l'utilisateur dès son arrivée dans l'application, il doit être bien guidé par une entrée progressive et expliquée vers le jeu. Cela demande un travail particulier sur l'assemblage des différentes pages de l'application, sur les règles du jeu du démineur, sur l'explication des thématiques, qui ont des termes parfois complexes. Le deuxième point d'attention majeur est le risque que l'utilisateur ne voit que le jeu et se détache de l'analyse et des données.

En effet, durant les différents tests de la démonstration de l'application (forum des masters, tests par des étudiants extérieurs au projet...), il est apparu que les utilisateurs restaient focalisés sur le jeu et ne cherchaient pas à comprendre l'analyse spatiale en fond. Nous avons donc cherché à mettre plus en avant l'analyse spatiale à travers différents changements. C'est un aspect compliqué mais essentiel à développer dans la conceptualisation et dans la mise en œuvre technique, surtout dans un temps limité.

### III. Analyses et gestion des données

#### A. Pré-traitements des données

##### 1. Quelles sont les données utilisées ?

Comme détaillé dans la partie [II.2 - Recentrage du projet](#), nous nous sommes focalisés sur deux jeux de données ayant le mérite d'être des sujets d'actualité intéressants pour un grand nombre de personnes.

	Pollution de l'air	Structures sensibles
Type de données	Concentration des PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Emprise des écoles, collèges, hôpitaux, parcs publics
Format	Raster (10m×10m) epsg :	Vecteur – Polygone epsg : 2154
Source	ATMO : Extrapolation mathématique	Data Grand Lyon
Emprise	Région Auvergne Rhône Alpes	Métropole du Grand Lyon
Date de récupération	01/12/2019	01/12/2019
Date de la donnée	Année 2018	Publiées entre 04/11/2015 et 05/03/2019

##### 2. Transformation des formats

La première étape pour exploiter les données de pollution de l'air a été de trouver une solution pour les agréger à une maille plus large. Pour cela, deux solutions étaient envisageables :

- Continuer de travailler avec des données raster par le biais de PostGIS raster.
- Vectoriser les informations pour nous faciliter l'exécution des traitements.

La première solution a été rapidement mise de côté du fait du peu d'informations disponibles pour les traitements que nous souhaitons réaliser. Nous avons jugé que le temps d'apprentissage de ces méthodes surpassait leur bénéfice par rapport à la vectorisation. Ce n'était pas contraignant car le nombre de données vectorielles est correctement traité par PostGIS pour notre objectif. Nous avons donc opté pour une vectorisation de la donnée sur le périmètre de l'UULySE afin de pouvoir réaliser rapidement les premières analyses. Nous avons ainsi pu tester diverses solutions pour l'exploitation des données dans l'application, en termes de visualisation. La vectorisation en direct engendrant un temps de traitement bien trop long, nous avons privilégié la création d'un maillage stockant nos données, lui-même intégré dans la base de données. Cela permet un affichage presque instantané de la donnée.

## B. Analyses des données

Toutes les données sont ensuite traitées statistiquement pour les préparer à la visualisation, puis intégrées dans un maillage. Ce dernier est présenté en détail dans la partie [III.C - Carroyer le Grand Lyon](#).

### 1. Analyse de la pollution de l'air avec les PM10

Les données de pollution de l'air, exprimée en moyenne annuelle de concentration de particules fines en  $\mu\text{m}/\text{m}^3$ , ont été vectorisées pour être agrégées sur un maillage de 200 mètres de côté. Cette agrégation se fait à l'aide de PostGIS, dans laquelle nous calculons une moyenne des points au sein de chaque maille.

Nous avons sciemment choisi la moyenne comme indicateur statistique en lieu et place de la médiane. Pour la pollution, ce sont les pics de concentration qui se révèlent les plus dangereux. La moyenne permet ainsi de prendre en compte ces pics car elle est influencée par les valeurs extrêmes. En rapportant les pixels d'origine à une maille de 200 mètres de côté, nous avons tendance à perdre l'information sur des zones extrêmes telles que des entrées de tunnels ou des échangeurs d'autoroutes. Voici un exemple illustrant ce phénomène aux niveaux de l'une des entrées du tunnel de Rochechardon sur le périphérique nord :

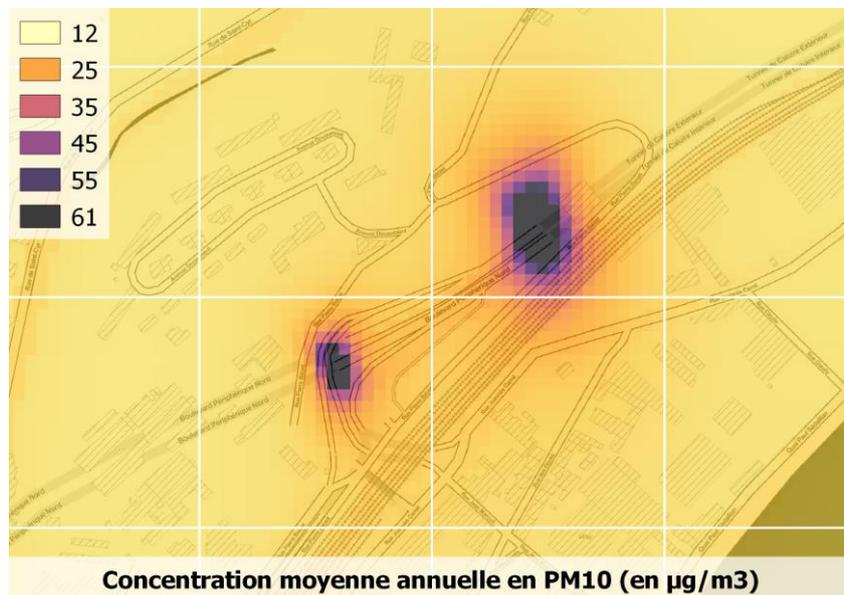


Figure 1: Zoom sur le tunnel de Rochechardon

Sur la figure ci-dessus, la maille comportant la "tache" de pollution la plus importante a une moyenne de  $30,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , alors que sa médiane s'élève seulement à  $21,64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Le choix de la moyenne permet donc de favoriser la mise en évidence de ces zones de forte pollution contrairement à la médiane qui va contribuer à leur dilution.

## 2. Analyse des structures sensibles

Pour réaliser une étude sur les structures sensibles, nous avons opté pour une analyse de la distance de chacune des mailles par rapport à la structure la plus proche. Pour calculer cette distance, une multitude de points ont été générés au sein des polygones des structures afin de recréer une sorte d'emprise de cette dernière. Cela permet de créer une matrice de distance entre les centroïdes de chacun des polygones du maillage et la structure la plus proche. Les structures ont été matérialisées par des maillages de points car cela résout le cas des grands parcs par exemple (voir Figure 2). Ceux-ci n'auraient été représentés que par un point unique, ce qui aurait faussé le résultat de la matrice de distance. Cela permet de mieux prendre en compte la proximité réelle de la structure à la maille. Sans cette technique, la matrice aurait pu détecter la structure beaucoup plus loin (à son centroïde) qu'un être humain ne considère sa proximité à cette structure : à son point d'entrée le plus proche.

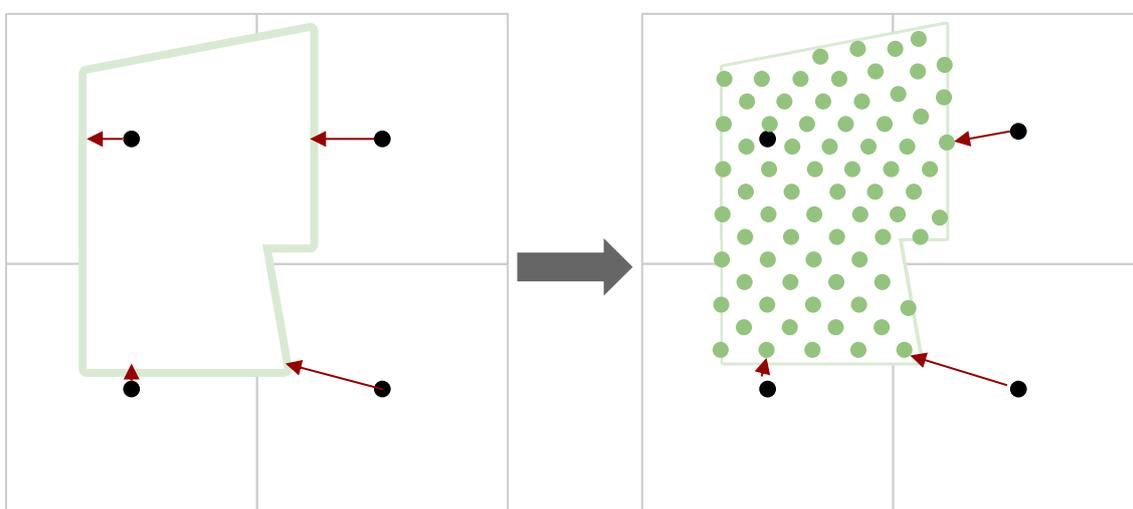


Figure 2 : Conversion des structures sensibles en maillage de point

Une deuxième raison se cache derrière ce choix. Si nous souhaitons simplement analyser la présence de populations sensibles au sein d'une maille, nous aurions privilégié une analyse de densité de structures par maille. La distance permet d'obtenir des données dans chacune des mailles et par conséquent de générer une discrétisation en quartile quelque soit la zone de jeu choisie par l'utilisateur. Si cette approche n'avait pas été choisie, de nombreuses zones n'auraient pas pu être sélectionnées en jeu.

## 3. Analyse de la pollution à proximité des structures sensibles

Les deux thématiques précédentes peuvent être considérée comme un aléa pour la pollution et un enjeu pour les structures sensibles. Cette dernière thématique va donc permettre de déboucher sur une étude du risque encouru par les populations sensibles. Cette dernière est un indice de sensibilité à la pollution, que nous avons appelé indice de sensibilité à la pollution. Il permet de visualiser les zones à proximité des populations sensibles et fortement impactées par la pollution.

Pour créer cet indicateur, les données de pollution et de distance ont été reportées sur une échelle de 0 à 1 grâce aux formules suivante :

$$\frac{PM10}{\max (PM10)}$$
$$\frac{distance}{\max (distance)}$$

Toutefois, nous avons dû changer l'indicateur de la distance, car nous considérons que si nous sommes proche d'une structure sensible (donc proche de 0), nous donnons plus d'importance à ce maillage. Pour cela nous avons utilisé cette formule, qui nous permet d'avoir une valeur proche de 1 lorsque nous sommes proche d'une structure sensible :

$$val\_abs\left(\left(\frac{distance}{\max (distance)}\right) - 1\right)$$

Il a alors été possible de calculer un indicateur multicritère permettant à la fois de cibler les endroits les plus pollués, mais aussi les mailles ayant une plus grande proximité aux structures sensibles. La formule utilisée est la suivante :

$$\frac{2 * ind_{pollution} + 1 * ind_{distance}}{3}$$

Nous avons testé plusieurs ratios, et l'indicateur de pollution évolue bien plus lentement que l'indicateur de distance, ce qui met davantage de priorité sur l'indicateur de distance. Pour compenser cette différence, il fallait soit changer l'évolution de l'indicateur de pollution (non linéaire mais peut être plus exponentiel ou logarithmique), soit donner plus d'importance à l'indicateur de pollution. Nous nous sommes orientés sur la deuxième solution et avons doublé le ratio de la pollution par rapport à celui de la distance aux structures sensibles. Cet indicateur pondéré met bien mieux en évidence les zones les plus polluées qu'un indicateur sans pondération. L'impact de la proximité des structures sensibles aux mailles est également mieux visible, avec des clusters cohérents.

## C. Carroyer le Grand Lyon : support de l'information et du jeu

### 1. Quel carroyage ?

Dans le respect du démineur classique, nous avons choisi un maillage orthogonal. Ce maillage recouvre l'ensemble de la Métropole du Grand Lyon. Il faut toutefois savoir que certaines mailles du carroyage ont été supprimées lorsqu'elles étaient situées aux limites de la Métropole. Ces mailles s'organisaient dans une forme particulière qui rendait la grille injouable dans certaines configurations. C'est le cas dans le sud de la Métropole où la grille aurait été trop filiforme comme le démontre l'image ci-dessous.

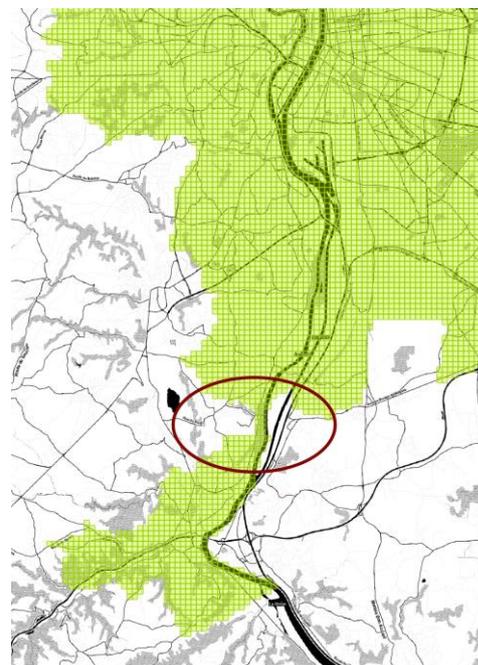


Figure 3 : Cas d'incompatibilité entre le maillage et le jeu

Pour la partie jeu, l'utilisateur sélectionne un lieu sur le carroyage, ce qui crée une emprise contenant les cents mailles les plus proches de ce lieu. Afin de choisir la taille de maille la plus pertinente, nous avons testé les analyses sur des grilles où la taille de la maille était de 500, 200 et 100 mètres. Toutes ont leurs avantages et leurs défauts (voir [annexe B](#)):

	Pollution de l'air	Structures sensibles
<b>Grille 500 mètres</b>	Moyenne de pollution trop lissée Etendue entre 12 et 26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Discrétisation en quartiles pertinente. Mise en évidence de hotspots de risque.
<b>Grille 200 mètres</b>	Moyenne de pollution représentative Etendue entre 12 et 42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Discrétisation en quartiles pertinente. Mise en évidence de hotspots de risque.
<b>Grille 100 mètres</b>	Moyenne de pollution très précise Etendue entre 12 et 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Discrétisation en quartiles non distinctive. Trop précis pour distinguer des hotspots pertinents.

Plusieurs critères ont été considérés pour créer la grille. Nous devons avoir une représentation agrégée à la bonne échelle afin d'en tirer une représentation pertinente et dégager des clusters suffisants pour pouvoir placer les bombes. Il ne faut toutefois pas une échelle trop petite au risque de ne pas voir suffisamment se dégager les zones de risque. C'est surtout le cas pour une thématique telle que la pollution, qui peut être un phénomène très localisé, et qui s'estompe en quelques dizaines de mètres. Le temps de traitement des analyses est également à prendre en compte, car il faut pouvoir produire la grille avec les trois thématiques de manière relativement rapide (voir Figure 20).

Nous avons d'abord travaillé sur un carroyage de 500 mètres de côté, avant de produire ceux de 200 et 100 mètres. Nous avons été retardés dans cette phase de comparaison à différentes échelles par une erreur de manipulation des traitements sur les mailles les plus fines. Leur durée en devenait ainsi rédhibitoire. Une fois que ce problème a été résolu, nous avons pu comparer ces carroyages (voir tableau ci-dessus) et sélectionner celui que nous pensons le plus pertinent pour montrer le potentiel de l'application. Nous avons également réfléchi à des évolutions qu'il serait intéressant de tester avec les carroyages non retenus. Notre application est ainsi basée sur un carroyage de 200 mètres de côté.

## 2. Analyse à l'échelle du Grand Lyon

Pour représenter les données à cette échelle, nous avons fait le choix de les discrétiser avec les ruptures naturelles (méthode de Jenks). On obtient ainsi un compromis entre une bonne répartition des données dans chaque classe, et une mise en évidence des données extrêmes, particulièrement importantes à faire ressortir sur le sujet de la pollution. Cette méthode donne ainsi une bonne représentation cartographique du phénomène.

A travers ces analyses globales, nous cherchons à préparer l'utilisateur à la partie jeu de l'application. Les objectifs que nous poursuivons sont les suivants :

- Visualiser les données et l'indicateur de sensibilité à la pollution sur l'ensemble de la Métropole.
- Se familiariser avec les thématiques et apporter des informations scientifiques (seuils sanitaires OMS) et juridiques (seuils légaux) sur la dangerosité de la pollution.
- Comprendre la répartition spatiale des phénomènes et faire le lien à la légende.
- Commencer à associer différents facteurs aux thématiques tels que le réseau routier pour la pollution ou les grands parcs et hôpitaux pour les structures sensibles.
- Commencer à comparer les visualisations sur la pollution et les structures sensibles pour comprendre l'indicateur de sensibilité à la pollution.

## 3. Analyse locale sur une emprise choisie

Pour représenter les données à cette échelle locale, nous avons fait le choix d'une discrétisation par quartiles. L'intérêt de cette discrétisation est d'obtenir quatre classes comportant obligatoirement un nombre égal d'individus pour faciliter le placement des bombes. Une discrétisation en quatre classes nous semble pertinente afin d'éviter un effet de saturation sur une grille ne comportant que cent mailles.

Le placement des bombes se fait de manière aléatoire à chaque partie. Seules les deux classes les plus extrêmes se voient attribuer des bombes, car cela permet d'insister sur les mailles les plus sensibles. Nous avons placé dix bombes dans la classe la plus élevée et quatre dans la deuxième. Ces chiffres sont inspirés de ceux utilisés dans le véritable démineur, soit environ 15 % de bombes sur une grille.

En utilisant le jeu pour faire découvrir son territoire et stimuler sa conscience environnementale, nous voulons remplir les objectifs suivants :

- Découvrir la qualité environnementale de son territoire sous une forme ludique à l'aide du jeu du démineur.
- Permettre de visualiser les zones les plus sensibles en termes de pollution (aléa), de proximité aux structures sensibles (enjeu) et de sensibilité à la pollution (risque).
- Donner envie d'explorer davantage la donnée avec le choix de l'emprise et le placement aléatoire des bombes.

## D. Structuration et modèle de données

### 1. Première version du modèle de données

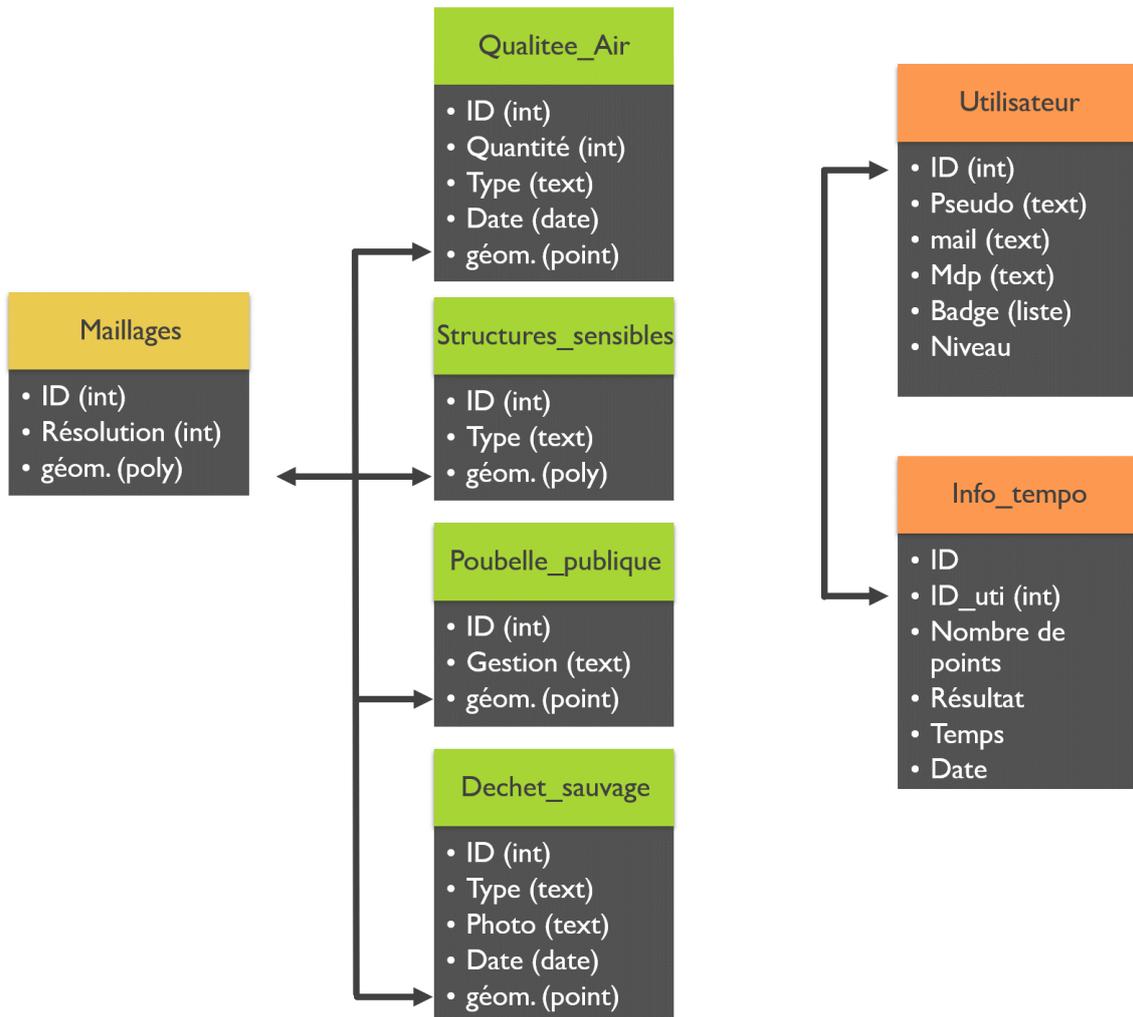


Figure 4 : Première version du modèle de données

### 2. Modèle de données final

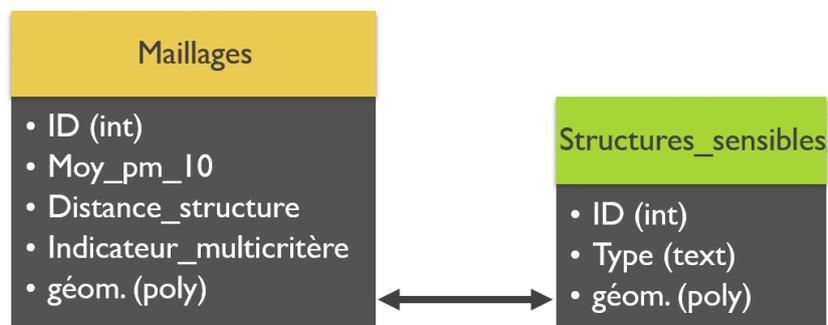


Figure 5 : Version final du modèle de données

## IV. Fonctionnement de l'application

### A. Principe général

L'application se divise en deux parties : la visualisation et le jeu. Elle est conçue de façon à ce que l'utilisateur puisse choisir l'un ou l'autre. Dès la page d'accueil l'utilisateur va être orienté vers les deux fonctionnalités, en insistant sur le besoin de la visualisation pour mieux jouer. L'application va ensuite lui offrir deux manières d'explorer les thématiques : à travers une visualisation simple avec des compléments d'information, ou en rendant l'utilisateur plus actif grâce au jeu.

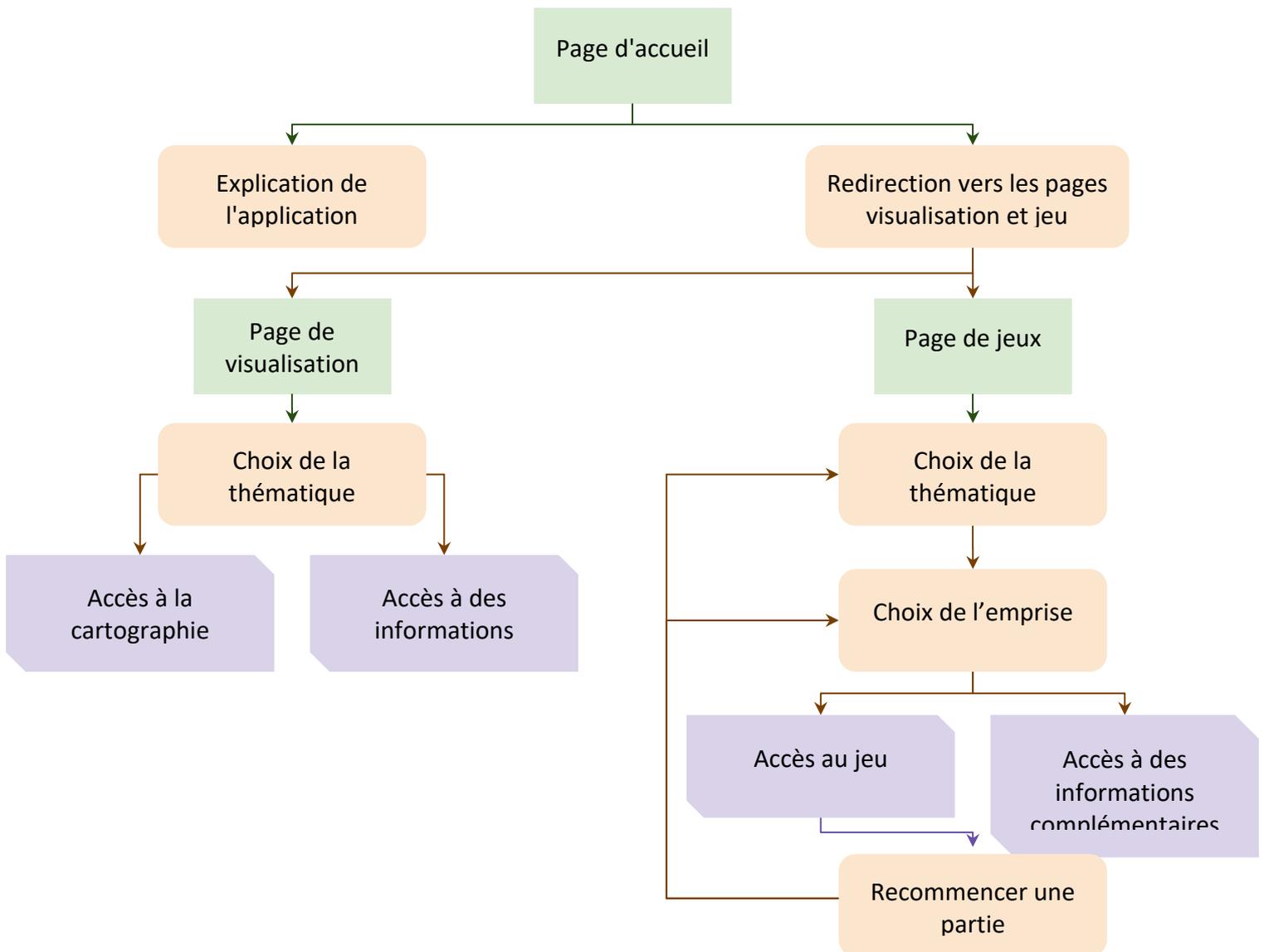


Figure 6 : Schéma du fonctionnement de l'application

La conception de l'application a beaucoup évolué depuis la création de la maquette ([annexe E](#)) dans l'optique de faciliter l'expérience utilisateur. L'organisation finale en deux pages va amener l'utilisateur à utiliser les fonctionnalités dans un certain ordre s'il souhaite accéder à tout le potentiel de l'application.

# Le parcours de l'utilisateur dans l'application

## 1. La page d'accueil

L'utilisateur commence son exploration de l'application sur la page d'accueil. Il a le choix immédiat de rentrer dans les données via la page de visualisation ou la page de jeu. Le fonctionnement de chacune des pages lui est rapidement indiqué en trois points. S'il est davantage curieux, il pourra parcourir plus en détails la page d'accueil pour en apprendre davantage sur le contexte du projet, les thématiques étudiées et les membres du projet. Des vidéos sont également prévues sur cette page pour aider à la prise en main de l'application, et des règles du démineur.



Figure 7 : Capture d'écran de la page d'accueil

## 2. La page de visualisation

La page de visualisation constitue une entrée dans la compréhension des données. Elle a été conçue dans l'objectif de faire découvrir chaque thématique à l'échelle du Grand Lyon. Cela permet à l'utilisateur de prendre le temps d'absorber toutes les informations nécessaires pour jouer ensuite au démineur. Il est aidé dans sa découverte par une légende bien sûr, mais également par plusieurs boutons cliquables. Ils l'informent à propos de la thématique choisie, de la méthode de traitement utilisée, ainsi que des sources de la donnée utilisée.

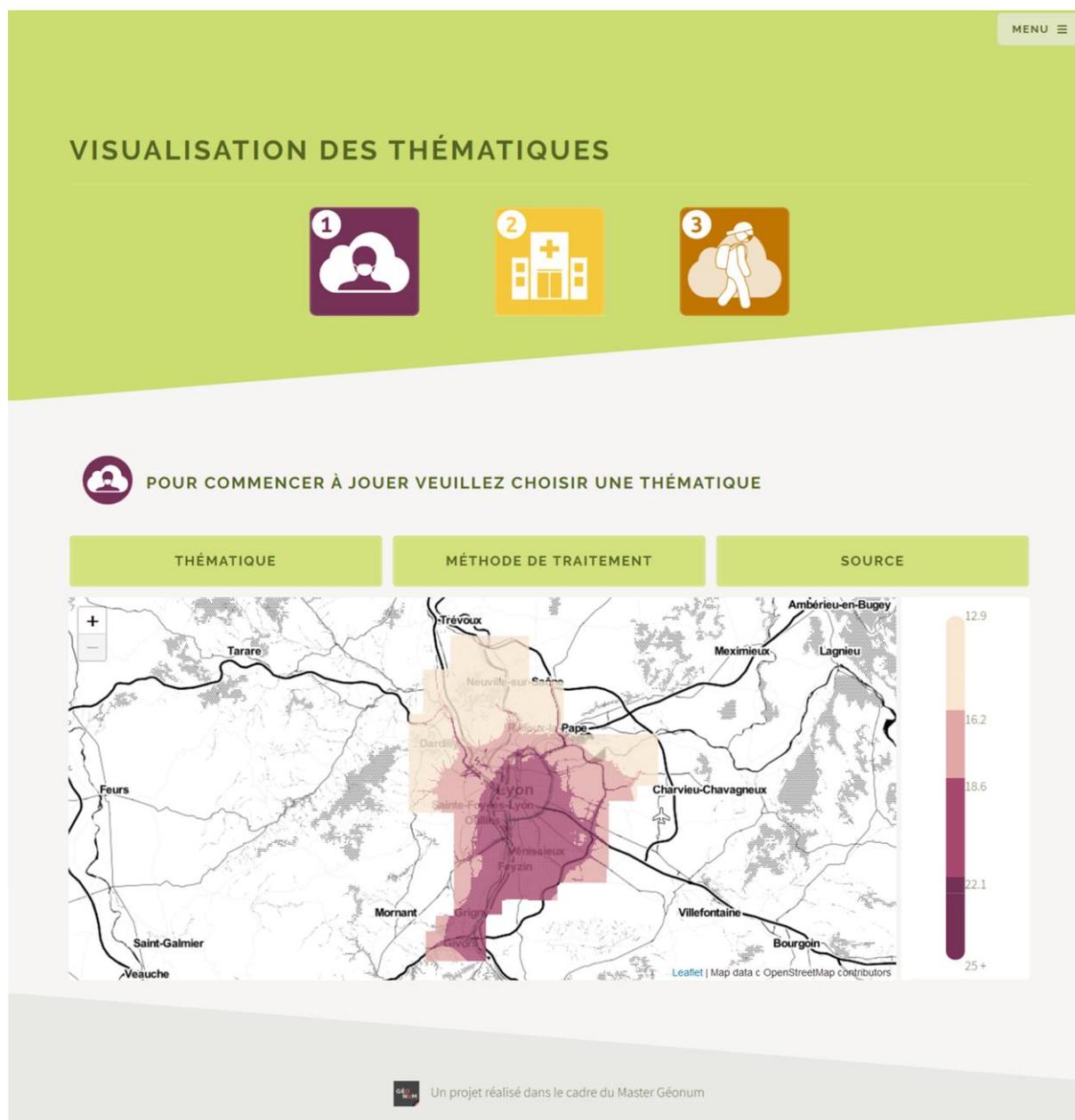


Figure 8 : Capture d'écran de la page de visualisation

### 3. La page de jeu

Une fois que l'utilisateur est satisfait de son exploration des visualisations, il peut commencer à jouer. Il peut jouer sur les trois analyses. Nous avons pensé le cheminement de la page jeu de telle façon qu'il soit incité à commencer par la pollution de l'air puis par la distance aux structures sensibles, avant de s'attaquer à l'indicateur de sensibilité à la pollution. Mais nous n'avons pas incorporé de mécanismes pour rendre obligatoire ce cheminement. Par exemple, nous aurions pu bloquer l'accès au jeu sur l'indicateur tant que l'utilisateur n'aurait pas réalisé les deux autres jeux.

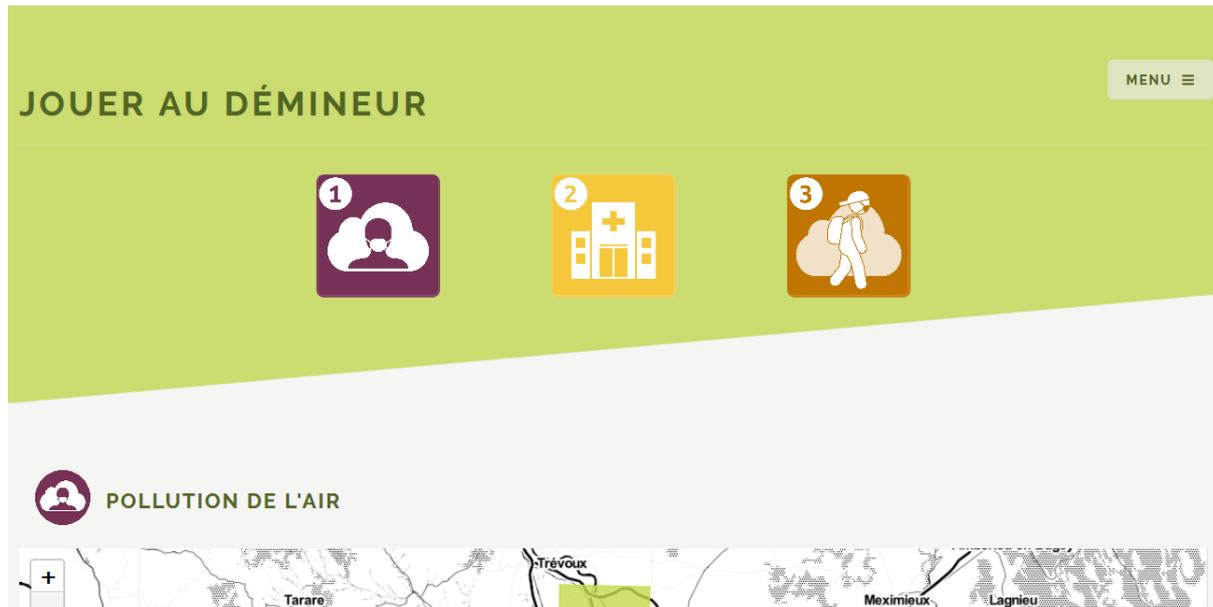


Figure 9 : Bandeau page de jeu

Pour le jeu, nous avons fait le choix de proposer une visualisation des analyses à une échelle locale, que l'utilisateur peut librement choisir sur l'ensemble de la Métropole. Quand l'utilisateur clique sur un lieu pour choisir une emprise, il obtient une zone de jeu comprenant les cents mailles les plus proches de son clique. Cette emprise locale lui permet de prendre connaissance de la situation dans son quartier, à proximité de l'école de ses enfants ou encore près de son lieu de travail, et de la comparer à la situation globale de la Métropole. La discrétisation des données est donc relative aux données de cette emprise, et non pas à l'entièreté du jeu de données. Une fois que l'emprise est choisie, la grille de jeu s'affiche et l'utilisateur peut commencer à jouer.



Figure 10 : Choix de l'emprise

Pendant le jeu, l'utilisateur peut cliquer sur plusieurs boutons. De cette manière, il a accès aux règles du Démineur durable, à une rapide explication de la thématique, de la méthode d'analyse ainsi qu'aux sources des données. Il peut également recommencer une partie dès qu'il le souhaite.



Figure 11 : Bouton d'information

L'objectif du jeu est que l'utilisateur s'aide du fond de carte pour estimer les mailles les plus à risque. Il a ainsi plus de chance de commencer le jeu sans cliquer sur une bombe et peut deviner les zones les moins risquées pour progresser rapidement dans la grille. Quand il clique sur une telle zone, les huit cases les plus proches se découvrent si elles ne comportent pas de bombes.

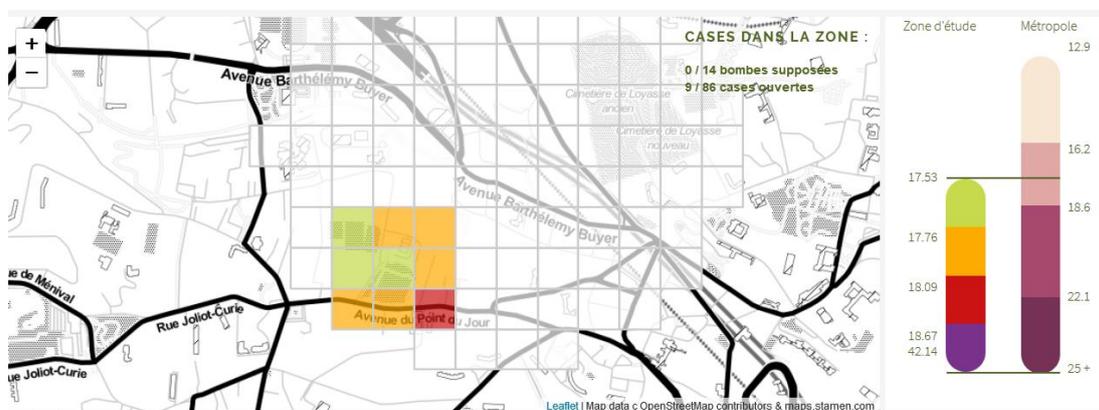


Figure 12 : Découverte de case vierge en jeu

Si une case a une ou plusieurs bombes dans sa proximité immédiate (le jeu prend en compte les mailles adjacentes et les mailles en diagonale), le nombre de bombes sera affiché sur cette dernière. Afin d'aider au mieux l'utilisateur dans son expérience de jeu, il peut accéder aux règles du jeu grâce à un bouton disponible sous la carte. Il s'agit en réalité d'un didacticiel pour guider le joueur pas à pas, cela permet à la fois de redonner les règles du démineur, mais également de mettre en avant l'intérêt de l'analyse spatiale pour le joueur, il prend ainsi pleinement conscience de ce qu'offre l'application.

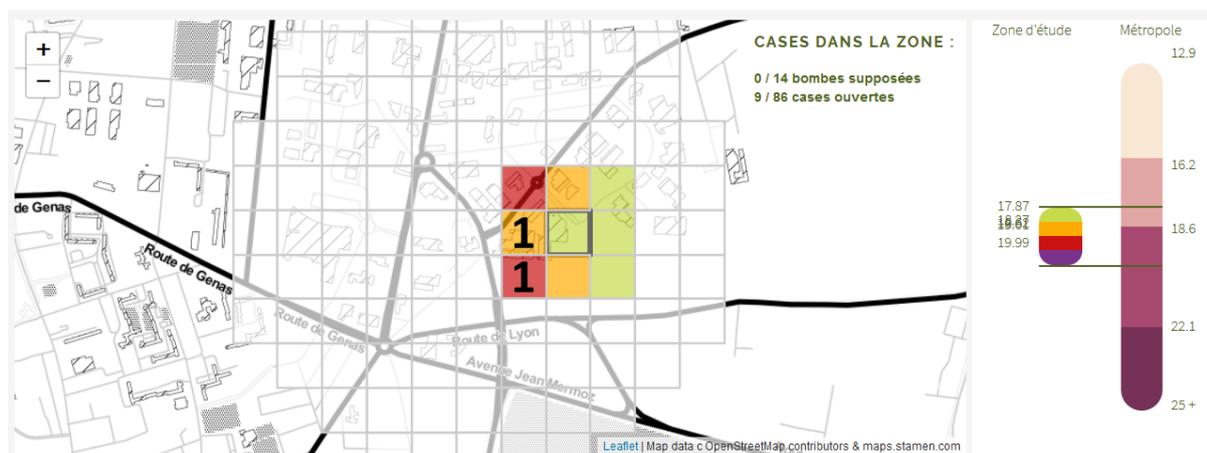


Figure 13 : Découverte de cases à proximité de bombes

La sémiologie de l'analyse apparaît lorsque l'on découvre des cases, et permet d'aider l'utilisateur dans sa compréhension des analyses spatiales. Plus les mailles tendent vers le violet, plus la maille est à risque, et peut donc comporter des bombes. Le joueur progresse donc dans la compréhension de la thématique en s'aidant du dégradé de couleur. Ainsi, en couplant le fond de carte avec sa connaissance du territoire et de l'analyse qui s'affiche petit à petit, le joueur peut déminer en sécurité son territoire. Il apprend ainsi à prendre conscience de la sensibilité de son territoire à ses risques environnementaux. Quand il pense avoir repéré une bombe, le joueur peut placer un drapeau, comme dans la version de base du démineur, sur cette case. Cela permet à l'utilisateur de repérer facilement les cases dans lesquelles il soupçonne la présence d'une bombe.

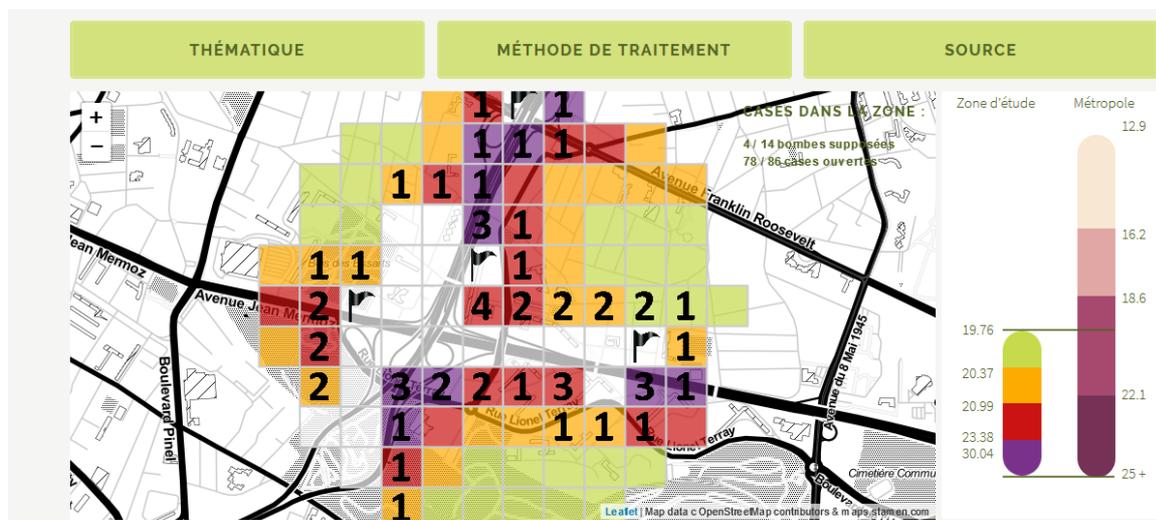


Figure 14 : Partie en cours sur la thématique pollution de l'air

Un compteur récapitule les cases et les bombes présumées découvertes afin de renseigner l'utilisateur dans son avancée de l'exploration du territoire.

Que l'utilisateur gagne ou perde, l'entièreté de l'analyse sur l'emprise sélectionnée s'affiche avec le placement des bombes. Cela offre la possibilité au joueur d'analyser comment la répartition spatiale du phénomène a été traduite en termes de discrétisation, de sémiologie ainsi que de placement des bombes. Il peut ainsi procéder par une méthode essais-erreurs pour améliorer sa compréhension du fonctionnement du jeu et sa connaissance du territoire.



Figure 15 : Partie gagnée

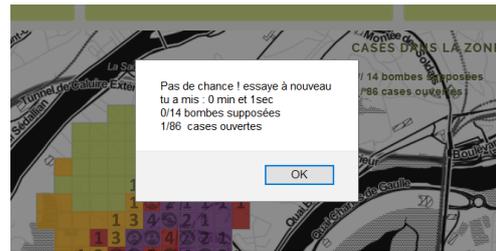


Figure 16 : Partie perdue

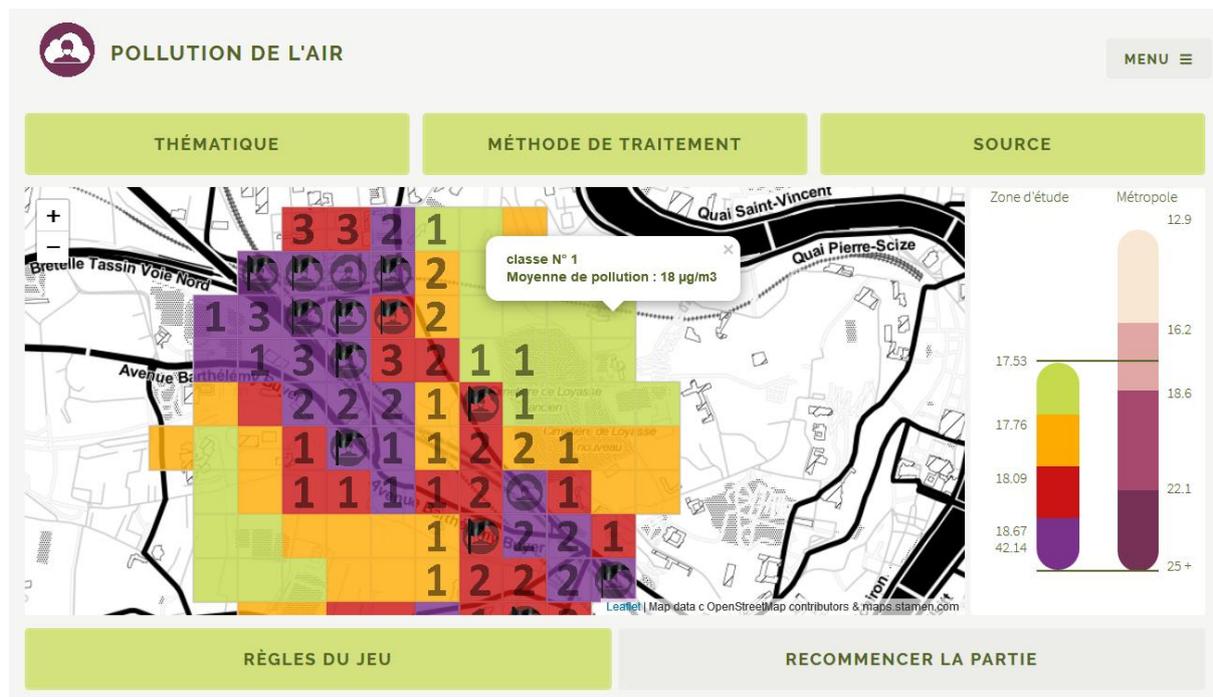


Figure 17 : Grille découverte en fin de partie et accès aux informations de chaque entité

## V. Développement de l'application

### A. Technologies utilisées

#### 1. Fonctionnement technique de l'application

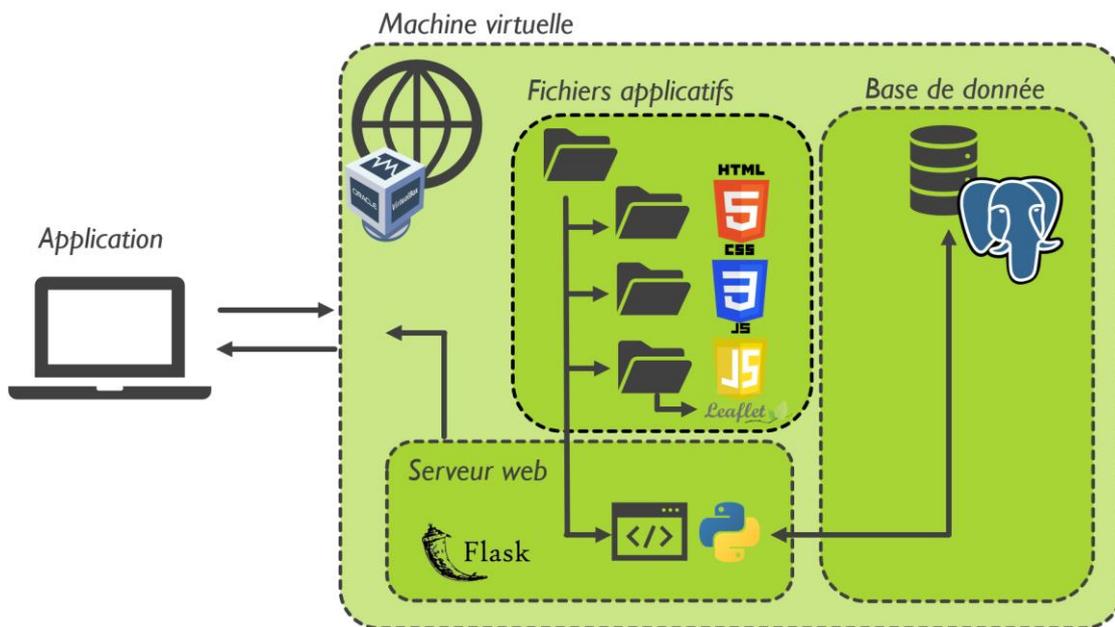


Figure 18 : Fonctionnement de l'application

L'application, utilisable uniquement en local, repose sur un ensemble de fichiers Javascript, pour le choix de l'emprise et le fonctionnement du jeu avec les librairies Leaflet et JQuery, HTML pour la mise en page et CSS pour la gestion du style. Le serveur Flask fait le lien entre les requêtes envoyées par l'application, les fichiers Javascript, et la base de données. Pour plus de sécurité, nous avons fait le choix de travailler avec une machine virtuelle, sous Linux, qui contient tous ces fichiers.

Par exemple, pour le choix de l'emprise le système fonctionne de cette manière :

- Un fichier JavaScript via des fonctions AJAX récupère les coordonnées du point sélectionné par l'utilisateur, et demande au serveur Flask de lui retourner de la donnée.
- Le serveur Flask interroge la base de données avec une requête SQL pour sélectionner les cent mailles les plus proches de ce point.
- La base de données renvoie ensuite les données demandées au serveur au format GeoJSON.
- Le serveur renvoie le fichier GeoJSON au JavaScript

## 2. Utilité du module Flask

Nous avons mobilisé des outils Open Source tels que Python Flask, pgAdmin 4, PostgreSQL/PostGIS ou encore un environnement virtuel sous Linux. Ce choix s'explique par leur facilité d'utilisation, leur gratuité et l'existence d'une importante communauté, utile en cas de difficultés. Le module Flask permet notamment de monter un serveur web de développement relativement rapidement. Il est assez souple et pratique d'utilisation, une fois la phase de prise en main achevée. De plus, nous n'avions pas de grands volumes de données à faire transiter de la base de données vers l'application, un petit module comme Flask est donc amplement suffisant.

Nous pensions utiliser Flask pour passer les données nécessaires à toutes les cartographies, c'est-à-dire pour les visualisations et la grille de jeu. Cependant, la donnée pour la partie visualisation est trop lourde à afficher dans l'application, ce qui nous a contraint à la stocker dans un fichier Javascript.

## 3. Une appropriation difficile du module Flask

Ce module a demandé un temps d'adaptation plutôt important, qui permet également de beaucoup progresser en Python et SQL. Après avoir surmonté ces difficultés, on commence à prendre mieux en main le module et à en apprécier les capacités :

- Le langage python peut être un frein à la compréhension.
- Nous avons eu des difficultés à comprendre comment retourner la donnée au format GeoJson.
- L'utilisation de Leaflet, et non d'OpenLayers par rapport au tutoriel que nous avons, a nécessité quelques modifications au script Flask. Nous nous sommes aidé d'un tutoriel orienté Leaflet.
- Les requêtes SQL nécessaires ont également exigé un temps de recherche pour comprendre le fonctionnement de l'extraction d'une sélection de données en base vers du GeoJson.

## 4. Requêtes SQL dans Flask

Lorsqu'une personne lance une partie de démineur, les scripts du jeu ont besoin d'avoir un GeoJSON, contenant une certaine forme, avec certaines valeurs. Pour cela, et en fonction des paramètres choisis par l'utilisateur, l'interrogation de la base de données nous retournera le GeoJSON souhaité.

### a) Gestion de l'emprise sélectionnée par le joueur

De multiples possibilités se sont offertes à nous pour extraire de la base l'emprise sélectionnée par le joueur. Après plusieurs essais, nous sommes passés par un classement des 100 géométries les plus proches du point sélectionné par le joueur.

```
SELECT * FROM analyse_durable
ORDER BY ST_Distance(
ST_Transform(ST_SetSRID(ST_MakePoint({}, {}), 4326), 2154),
ST_Centroid(st_transform(geom, 2154)) ) ASC
LIMIT 100
```

Cette méthode est peut-être plus coûteuse en ressources et calcul. Cependant, elle nous permet de faciliter plusieurs problématiques telles que :

- Les effets de bord de la zone d'étude : peu importe l'endroit où le joueur clique, nous obtiendrons 100 cases.
- Le changement du nombre de cases : si demain nous souhaitons ajouter des niveaux de difficulté, il serait très facile de remplacer cette valeur par une variable choisie par l'utilisateur.

### b) Valeurs nécessaires aux démineurs

En fonction de la thématique choisie, nous devons sélectionner les données correspondantes dans la base. Un champ "classe" doit aussi être créé pour déterminer le quartile d'appartenance de chacune des 100 géométries sélectionnées. Pour cela, nous avons mis en place une pré-requête en sélectionnant uniquement le champ souhaité, et nous calculons le quantile grâce à la requête suivante :

```
SELECT theme_choisi, geom,
       NTILE(4) OVER(ORDER BY theme_choisi ASC) as classe
FROM analyse_durable
```

Auparavant dans le premier modèle conceptuel, l'objectif était de calculer ces valeurs en réalisant une moyenne par géométrie pour la pollution, une matrice de distance des structures sensibles, ainsi qu'un calcul plus complexe pour l'analyse multicritère. Cependant, nous nous sommes très vite aperçus que les temps de requête devenaient parfois importants. Nous avons donc changé notre modèle pour les rendre instantanées.

### c) Gestion du format GeoJSON

Une fois nos données correctement sélectionnées et préparées, il faut alors les transformer au format GeoJSON. Pour cela, nous avons utilisé les fonctionnalités `jsonb_build_object`, `jsonb_agg`, `ST_AsGeoJSON`, ce qui nous permet d'obtenir la requête finale :

```
SELECT jsonb_build_object( 'type','FeatureCollection',
                          'features', jsonb_agg(features.feature))
FROM ( SELECT jsonb_build_object( 'type', 'Feature', 'geometry',
                                ST_AsGeoJSON(geom)::jsonb,
                                'properties', to_jsonb(inputs)
                                - 'geom'
                              ) AS feature
      FROM ( SELECT THEME,
                NTILE(4) OVER(ORDER BY THEME ASC),
                geom
            FROM ( SELECT * FROM analyse_durable
                  ORDER BY ST_Distance(
                    ST_Transform(ST_SetSRID(ST_MakePoint({},{}),4326),2154),
                    ST_Centroid(st_transform(geom, 2154))
                  ) ASC
                LIMIT 100) as Selection_emprise
          ) as inputs
      ) as features;
```

## B. Fonctionnalités des pages

### 1. Page "Visualisation"

La page de visualisation a été conçue de façon relativement simple car elle fait appel à une bibliothèque Leaflet afin d'afficher la carte. La complexité est de générer la carte ainsi que la légende à chaque changement de thématique.

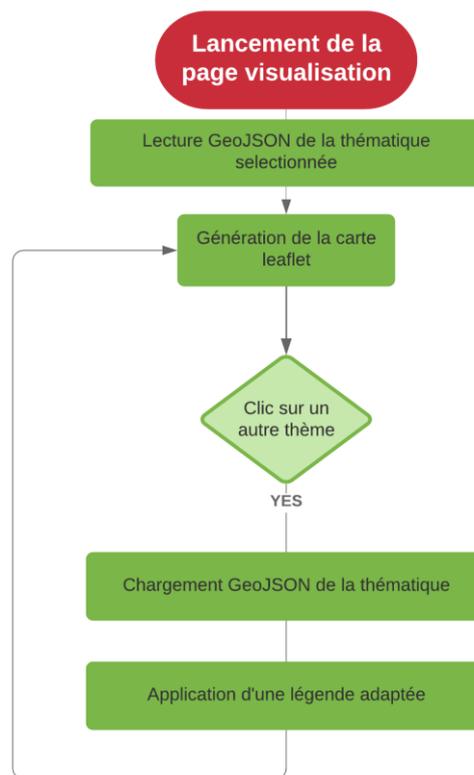


Figure 19 : Schéma de fonctionnement de la page visualisation

## 2. Page "Jouer"

La page jouer constitue le cœur de l'application. Elle est élaborée à l'aide de la bibliothèque Leaflet pour JavaScript. Nous avons construit le fichier séparément, puis nous l'avons implanté dans une fonction qui est appelée au moment où l'utilisateur lance une partie. Ce choix a été fait pour simplifier l'assemblage des différents fichiers.

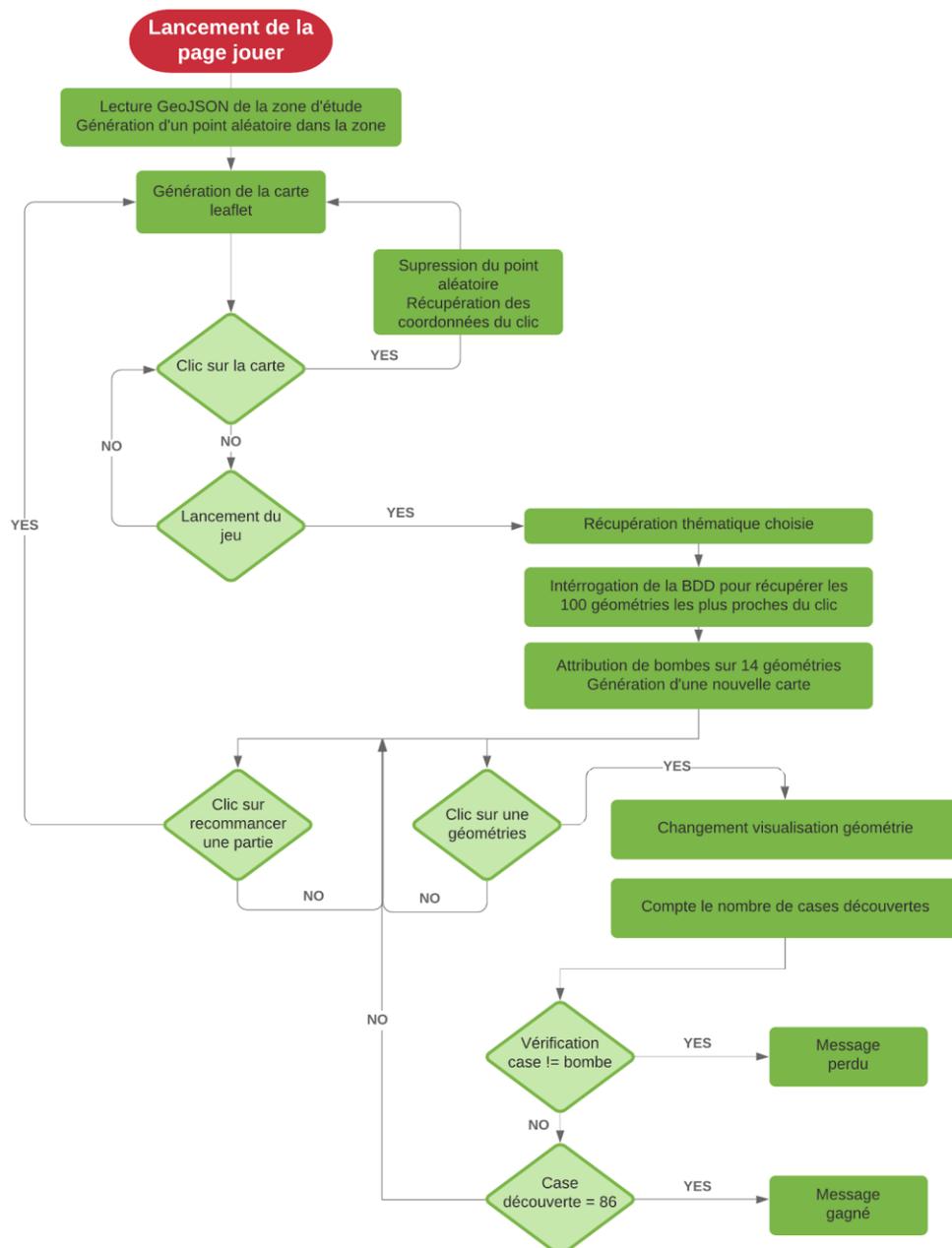


Figure 20 : Schéma de fonctionnement de la page jeu

Afin de compléter le logigramme voici une explicitation des fonctions les plus complexes mises en place, à savoir le placement des bombes, le décompte des bombes et l'ajout des drapeaux :

- Les bombes sont réparties dans les différentes classes de manière aléatoire mais en prenant en compte les classes. Dans cette version du projet, nous traitons uniquement des grilles de 100 cases. Nous plaçons 14 bombes (nombre défini d'après les proportions de bombes dans les grilles des jeux de démineurs classiques), 10 dans la classe la plus critique et 4 dans la seconde. Cette manipulation s'effectue en parcourant toutes les *features* du jeu de donnée puis en décomptant le nombre de bombes attribuées. Un attribut temporaire est ajouté à chaque case pour repérer les entités marquées par ces bombes.
- Pour décompter les bombes adjacentes à chacune des cases, un buffer de 110% est calculé pour chaque entité, puis une intersection est utilisée pour reconnaître les cases adjacentes (Leaflet n'ayant pas de fonction reconnaissant d'adjacence de base). Le nombre de cases avec une bombe affectée est ensuite attribuée à chacune des entités.
- La fonction d'ajout des drapeaux a été légèrement plus compliquée à mettre en place car chaque image devait être liée à une case (sinon cela causait des problèmes comme : seul le dernier drapeau est enlevé alors que l'utilisateur voulait en enlever un autre).

Les fonctions de victoire et de défaite ont ensuite été définies pour permettre à la partie d'avoir une fin. Nous avons décidé de rendre la totalité de la grille visible après la défaite afin que l'utilisateur en apprenne le plus possible sur l'analyse spatiale. Nous avons aussi intégré dans ces fonctions un système de popup au clique permettant d'obtenir des informations sur les données pour chaque case.

## C. Réflexion graphique

### 1. Ergonomie de l'application

La disposition des éléments a été choisie de manière à offrir suffisamment de contenus à l'utilisateur sans le noyer sous les informations. Elle permet également de faciliter sa progression. L'une de nos idées était à l'origine de débloquer le contenu en fonction de la progression du joueur, en lien avec un système de profil. Pour faciliter le développement, nous avons finalement opté pour une interface mettant d'abord en avant la thématique pollution de l'air. Cette dernière a pour avantage d'être facilement à portée de main étant donnée sa corrélation avec le réseau routier.

L'interface propose également suffisamment d'interactivité pour permettre à l'utilisateur de savoir rapidement où cliquer pour trouver les informations nécessaires. De plus, cette interactivité rend l'accès à la connaissance plus attrayant, car l'utilisateur ne se voit pas imposer le fait de lire toutes les informations, il le fait de son plein gré.

Lors de son arrivée sur les pages de visualisations ou de jeu, l'utilisateur est invité à choisir la thématique qu'il souhaite étudier, elles sont représentées à travers les logos suivants :



Figure 21 : Logos interactifs des thématiques

Au passage de la souris, les pictogrammes laissent place à un titre indiquant clairement de quoi il s'agit (voir Figure 22), l'utilisateur obtient ainsi des compléments d'information de façon interactive, rendant l'application plus vivante.



Figure 22 : Logos interactifs des thématiques au passage de la souris

Les cartes de jeux et de visualisations sont également encadrées par une série de boutons. La ligne de bouton ci-dessous est disponible dans les deux modes, elle permet l'ouverture de différentes info-bulles, dispensant de l'information sur la thématique active.



Figure 23 : Boutons donnant accès aux informations

La page ci-après offre un détail de chacune des info-bulles pour la thématique des structures sensibles.

**A PROPOS DE LA THÉMATIQUE** ✕

---

Ce que nous appelons structures sensibles sont des lieux susceptibles d'accueillir un publique plus sensible à la pollution de l'aire telle que les enfants ou les personnes malades. De façon plus concrète il s'agit des hôpitaux, des établissements scolaires, ainsi que des parcs où beaucoup d'enfants peuvent être présents.

Figure 24 : Info-bulle liée au bouton thématique (thématique active : structures sensibles).

**MÉTHODE DE TRAITEMENT DES DONNÉES** ✕

---

Cette thématique a été traité de manière à figurer non pas une densité au sein des mailles, mais un éloignement. Ainsi, les chiffres indiqués dans la légende correspondent à la distance entre le centre de chacun des carrés et la structure la plus proche. Si un carré à une distance de 0 cela veut dire qu'une structure s'y trouve en plein centre, si la distance est de 13km cela veut dire que la structure la plus proche de son centre est à 13km.

Figure 25 : Info-bulle liée au bouton méthodes de traitements (thématique active : structures sensibles).



Figure 26 : Info-bulle liée au bouton source (thématique active : structures sensibles).

Les deux boutons suivants se trouvent en-dessous de la carte de jeu. Le premier bouton fonctionne comme les trois précédents et génère une info-bulle dispensant les règles du jeu. Le dernier permet de renvoyer le joueur sur un nouveau choix d'emprise, sa couleur grise le distingue des autres et le rend moins voyant que les autres sur le fond gris de l'application. C'est une sorte de mesure de sécurité afin qu'un utilisateur ne clique pas dessus par inadvertance et perde sa partie en cours.



Figure 27 : Bouton figurant au bas de la carte jeu

Enfin un bouton menu est constamment disponible sur chacune des pages, il ouvre une fenêtre permettant la navigation entre les fonctionnalités.



Figure 28 : Bouton et pop-up menu

## 2. Double légende de la carte de jeu

Dans le cadre du jeu, la discrétisation est effectuée sur l'emprise de la grille et les classes sont créées avec les valeurs inhérentes cette grille. L'utilisateur n'a donc aucun point de repère pour recontextualiser les niveaux de criticité de son emprise. Nous avons donc mis en place une double-légende permettant de comprendre rapidement dans quelle gamme de valeurs se situe la zone de jeu en comparaison avec la Métropole de Lyon.

Cette légende se présente assez simplement avec deux échelles de couleurs :

- Les valeurs relatives à l'emprise de la totalité de la Métropole de Lyon sont situées à droite de la légende et reprennent le code couleur de la page de visualisation de la problématique concernée.
- Les valeurs relatives à la zone de jeu sont situées sur la gauche. Elles représentent les quatre classes utilisées dans l'analyse. L'amplitude des valeurs s'adapte automatiquement à la légende de la Métropole, ce qui permet de comprendre dans quelle situation est la zone sélectionnée en comparaison de la totalité des données.

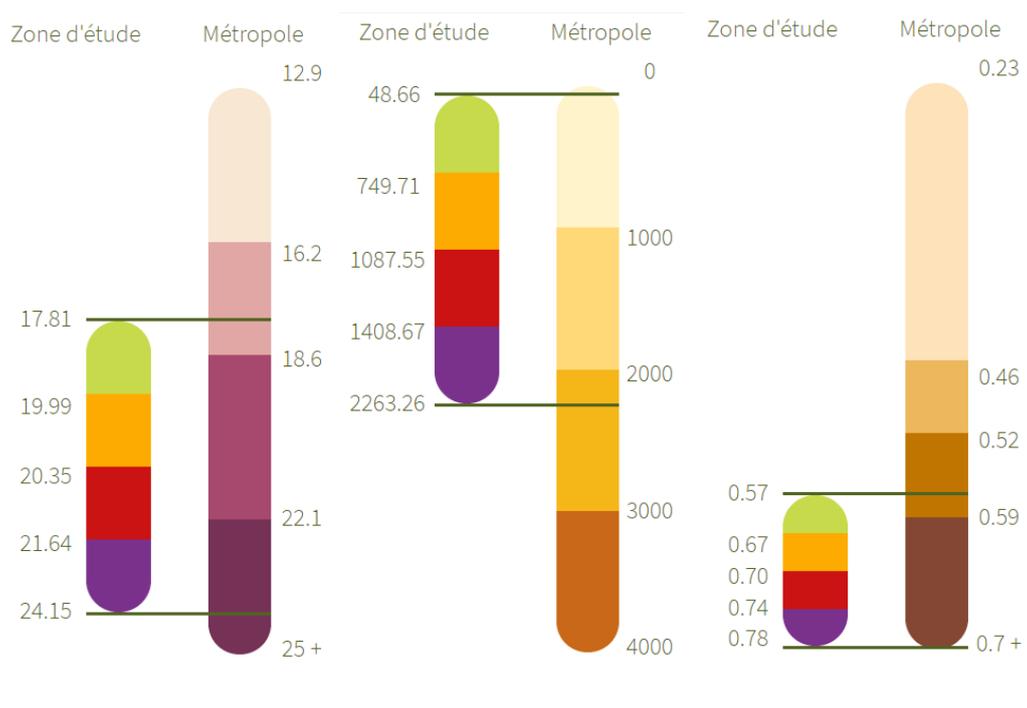


Figure 29 : Double légende pour chacune des thématiques

*A gauche : double légende de la pollution de l'air*

*Au centre : double légende de la distance aux structures sensibles*

*A droite : double légende de l'indice de sensibilité à la pollution.*

La double légende permet une recontextualisation indispensable à l'expérience de jeu. Cependant, les classes dans cette légende ne sont pas représentées selon leurs valeurs mais selon l'effectif (25% des cases de la grille de jeu dans chaque classe), ce qui peut être source de confusion pour l'utilisateur. Nous avons cependant jugé que cela était préférable pour bien montrer que chaque classe comporte le même nombre de cases, et pour que chaque classe soit bien visible (l'analyse par quartiles aurait pu créer des classes quasi-invisibles en termes d'amplitude des valeurs). Nous avons en effet imaginé cette légende plus comme un outil de recontextualisation que comme un véritable outil d'analyse. Dans la version actuelle de l'application, la légende ne permet pas d'afficher les unités correspondant à l'analyse de chaque thématique, mais nous espérons corriger ce problème pour le rendu final.

### 3. Gestion graphique de l'application

L'une des complexités graphiques liée à notre application a été la gestion des chartes graphiques pour la double légende. A l'origine une seule palette, allant du vert au violet, avait été choisie. La raison était son utilisation fréquente dans les cartes de pollution, mais elle s'adaptait également parfaitement à l'analyse spatiale du démineur. Les couleurs vives qui se dissocient très bien les unes des autres permettent à l'utilisateur d'être plus réceptif à l'analyse durant le jeu.

Toutefois, le fait de maintenir la même palette pour l'analyse à l'échelle métropolitaine aurait pu perdre l'utilisateur. Deux options ont alors été considérées :

- Conserver la palette sur la métropole et en proposer une dérivée pour le jeu (figure 30 ci dessous).



Figure 30 : Palette de couleur étudiée pour la double légende

Cette option aurait permis à l'utilisateur de mieux se rendre compte en jeu des concentrations présente sur sa grille par rapport à la totalité de la Métropole. De plus, ce type de mise en forme peut soulever d'autres problèmes, car si la légende se situe entre deux couleurs, elle a le désavantage de passer de couleurs vives à des couleurs pâles qui peuvent perturber l'interprétation de la carte. Cette option demandait aussi un temps de développement assez important dû aux nombreux cas particuliers liés à ce type de visualisation (comment afficher les couleurs lorsque trois classes sont concernées ? comment représenter les différentes proportions de chaque couleur ?).

- Choisir une couleur par thématique et conserver la palette d'origine pour le jeu. Nous avons opté pour cette option car elle présente l'avantage de dissocier chacune des thématiques, tout en favorisant l'utilisation de l'analyse spatiale durant le jeu. De plus avec la légende du jeu qui s'adapte le long de celle de la Métropole, le joueur a toujours accès à un point de repère par rapport à la distribution générale des données.

La création des logos est un second point très important dans la conception graphique de l'interface. En effet, ils constituent l'un des premiers points d'entrée dans l'application et doivent par conséquent être suffisamment clairs pour l'utilisateur. L'une de solution aurait été de créer des boutons avec le nom de chacune des thématiques. Toutefois, au vu des différents tests effectués sur

l'application, nous avons pu constater qu'il ne sont pas assez accrocheurs et l'utilisateur peine à les trouver. Les logos étaient donc la solution adéquate pour avoir un impact visuel suffisant chez l'utilisateur. De plus les couleurs affiliées à chacun d'eux ont pu servir de trame pour créer les palettes utilisées sur les cartographies.

## VI. Méthodologie et gestion du projet

### A. Stratégie d'organisation

Notre organisation de projet a essayé de faire en sorte que chacun trouve son compte dans la répartition des charges en termes de montée en compétence et d'envies de travail. Les compétences nécessaires étaient très variées : de l'analyse de données à la construction de la base de données, en passant par le développement web en JavaScript, HTML et CSS, et l'aspect esthétique de l'application. Ce ne sont que des exemples des grandes thématiques de travail que nous avons identifiées.

Dans un premier temps, tout le travail de réflexion quant à la conceptualisation de l'application a été collectif. Ensuite, nous avons établi un planning plus précis en essayant d'établir la charge de travail que chaque tâche demandait et en y attribuant un responsable unique. Nous nous sommes réparti les tâches selon nos compétences et nos envies personnels, cette première organisation est consultable en annexe. L'aspect informatique n'a pas été un problème qui nous inquiétait car Axel a un bagage d'informaticien, et pouvait aider les autres membres du groupe à progresser. Nous avons conscience également que nous pouvions compter sur l'aide occasionnelle d'autres membres de la promotion. Quelques semaines avant l'atelier géonumérique, nous nous sommes plus concrètement réparti les tâches à effectuer, une fois que nous avons eu un aperçu plus clair de notre application. Cette répartition a perduré au cours de l'atelier, sous réserve d'ajustements nécessaires pour gagner en efficacité, sous l'effet de la contrainte de temps et des difficultés que nous avons rencontrées.

### B. Planning du projet et de l'atelier

Nous avons établi deux plannings différents au cours du stage. Le premier couvre la période de janvier à mars, tandis que le deuxième se concentre sur les deux semaines d'atelier fin février (voir [annexe C](#) et [annexe D](#)). Les dépassements de certains des délais que nous nous étions fixés dans le premier planning nous ont permis d'identifier les points de complexité de notre projet. C'est sur ces points que nous avons été prudents pendant l'atelier.

Le planning a été fixé dès le lancement de l'atelier en figurant les grandes tâches associées à des dates butoirs, les responsables de tâches, ainsi que les cours d'anglais et points d'étapes avec les enseignants. Les trois ou quatre tâches complexes y ont été mises en avant, pour bien en avoir conscience.

Ce planning était évolutif selon les avancées plus rapides que prévu, ou à l'inverse des retards imprévus. Ceux-ci nous ont amené à rééchelonner certaines tâches ou à en rajouter d'autres pour développer des solutions de contournement, comme ce fut le cas pour le développement du choix de l'emprise.

## C. Charge de travail

Nous avons réparti le temps de travail sur différents aspects en fonction de ce que nous voulions le plus pousser pour le résultat final (voir Figure 31).

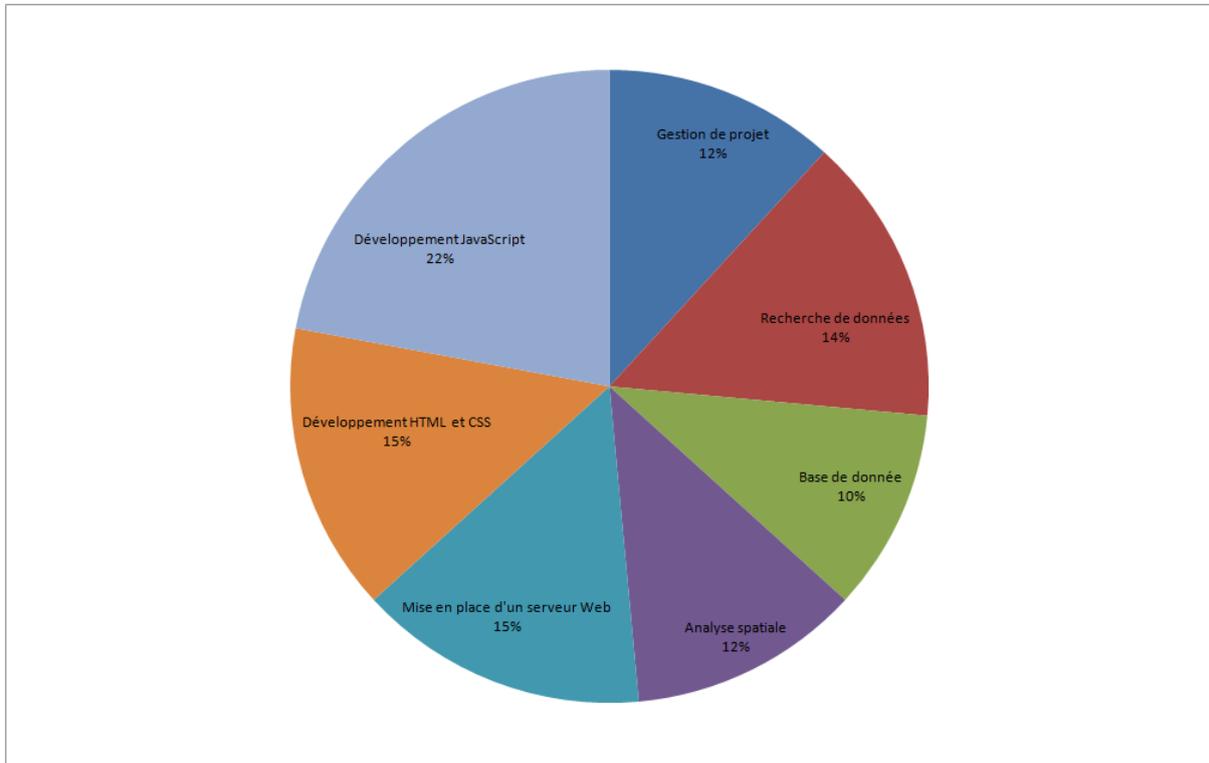


Figure 31 : Charge de travail pour les différents aspects du projet

Nous avons commencé très tôt la recherche des données ainsi que les phases de gestion de projet, ce qui nous a permis d'allouer un temps assez conséquent sur ces phases préliminaires essentielles pour la bonne organisation et la concrétisation d'un projet sérieux.

La base de données et les premiers essais d'analyses spatiales ont ensuite été effectués pendant les phases de temps libre des différents membres du groupe, avant le début des semaines "ateliers" proposées par les enseignants. Ces aspects ont été convenus très tôt dans le projet car ils sont à la base de toute l'infrastructure de l'application et nécessitent une validation pour continuer le développement du Démineur durable.

Les trois phases suivantes, c'est-à-dire la mise en place du serveur Web, le développement JavaScript et le développement HTML et CSS ont été commencés peu avant les semaines ateliers afin d'avoir une idée de la charge de travail nécessaire. Ces trois phases se sont déroulées en parallèles pendant une bonne partie des semaines ateliers. Elles étaient chacune supervisées par un "réfèrent" désigné dans le groupe avec des mises en commun régulières afin de débusquer les problèmes d'assemblage.

La mise en place d'un tel projet a permis au groupe d'apprendre et de mettre en pratique des compétences variées que nous avons regroupées sous plusieurs grandes catégories. Chaque membre du groupe a travaillé sur des parties spécifiques du projet, ce qui a entraîné l'amélioration de compétences bien spécifique pour chaque personne.

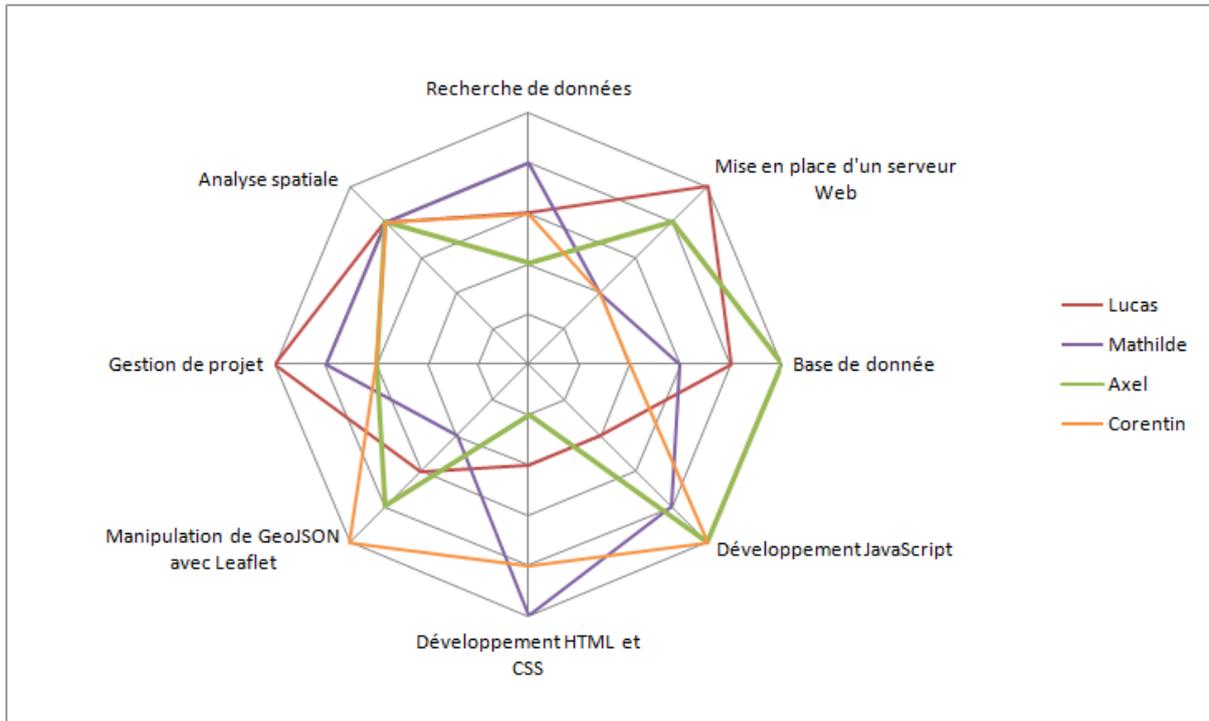


Figure 32 : Récapitulatif des compétences développées par chaque membre du groupe au cours du projet.

## D. Outils méthodologiques utilisés

Pour travailler plus efficacement sur le projet en groupe, nous avons eu recours à divers outils collaboratifs.

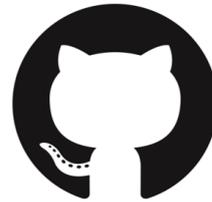


### Google Drive

Modifier un document simultanément par plusieurs utilisateurs, ce qui permet un gain d'efficacité dans les phases de conceptualisations et de rédaction de rapport.

### GitHub

Partager, archiver, versionner et fusionner les scripts de développement web. Hébergement de notre démo tout en partageant notre code.



### Discord

Nous a permis d'échanger des informations de manière rapide et organiser comme des morceaux de codes sur certaines parties ou réaliser des réunions vocales à distance

### Trello

Nous as permis de partager des documents de formats divers, et d'établir des listes de tâches à réaliser avec des personnes référentes et des dates butoirs.



### Réunions hebdomadaires

Les réunions et échanges physiques réguliers, environ une fois par semaine, ont eu leur importance, notamment pour lever des ambiguïtés qu'on ne verrait pas autrement.

Figure 33 : Outil mis à profit pour la gestion de projet

## VII. Défis rencontrés et perspective de l'application

### A. Difficultés particulières

#### a) La question des données

L'incertitude sur la taille du maillage ainsi que des erreurs dans la génération de la matrice de distance, nous ont amené à beaucoup nous questionner sur la pertinence de notre premier choix d'une grille à 500 mètres de résolution. Une fois ces erreurs résolues, deux nouvelles grilles complètes (pour 200 et 100 mètres) ont été produites et testées.

#### b) Problèmes techniques

Nous évoquons dans cette partie les problèmes majeurs liés au développement de l'application.

- Lors du développement du choix de l'emprise, l'intersection de la grille globale par un polygone produisait un mauvais résultat (ST\_Intersects d'un polygone sur une grille).

*Hypothèse* : il pouvait s'agir d'un problème de projection et/ou d'une complexité d'intersecter parfaitement des mailles avec un polygone pour produire un carré parfait de dix mailles sur dix.

*Tentatives de résolution* : nous avons testé cette intersection avec des grilles dans d'autres systèmes de coordonnées (4326 et 3857), ce qui a nécessité de refaire tous les traitements et de remanier la base de données.

*Solution* : nous avons contourné le problème avec un changement de la forme de l'emprise de jeu. Nous sommes passé d'un carré à une forme ovale, et nous avons abandonné l'intersection pour la sélection des cents mailles les plus proches du centre de l'emprise.

- Le branchement de l'application au serveur Flask s'est avéré plus complexe que prévu. Lors de la mise en commun des problèmes de communication entre fichiers non anticipés sont apparus. Nous ne parvenions pas à faire passer la donnée générée par le serveur web dans un autre fichier JavaScript que celui contenant la requêt AJAX.

*Hypothèse* : notre méthode de travail consistait à chacun avancer sur une partie du développement, ce qui a entraîné un développement du jeu sur des données stockées en local.

*Solution* : une journée a été nécessaire pour remanier le script d'exécution du démineur pour l'adapter à une utilisation des données provenant d'une base de données.

- Le développement de la double légende et son intégration dans le HTML s'est avéré beaucoup plus ardu et chronophage que prévu. Nous l'avons identifié comme une fonctionnalité à risque, mais nous avons tout de même sous-estimé la complexité de cette idée. Quelques problèmes sont encore présents (décalage des valeurs par rapport à la légende de la grille), dus à l'intégration de la légende dans la page définitive.
- Lorsque la grille n'est pas terminée (si la personne ne perd pas ou ne gagne pas), l'encart avec le nombre de drapeaux et de cases à ouvrir ne disparaît pas. Il est donc possible de le dupliquer lorsqu'on recommence une partie alors que la précédente n'est pas terminée. Un rafraîchissement de la page permet de corriger le problème mais nous n'avons pas trouvé de solution viable et durable pour l'éviter.

*Hypothèse* : plusieurs solutions ont déjà été testées (suppression des couches à la fin d'une partie, rafraîchissement de certaines couches...), mais aucune n'a permis de corriger le problème sans impacter la fonctionnalité du site.

### c) La définition des enjeux et des fonctionnalités de l'application

L'équilibre entre l'aspect jeu et l'aspect apprentissage sur la qualité de l'environnement n'a pas été suffisamment creusé en amont. Cela a nécessité de prendre du temps pour réfléchir aux fonctionnalités sous cet aspect-là. Ce problème s'est particulièrement fait ressentir dans la partie jeu sur des éléments qui apparaissent plus anodins en amont du développement. La réflexion sur la palette de couleur, la double légende et sa relation avec les légendes de la partie visualisation, ainsi que les discrétisations à utiliser sont des sujets que nous avons involontairement négligés. S'en rendre compte au fur et à mesure du développement a amené des débats et réflexion au sein du groupe, qui auraient pu être menés plus tôt.

### d) La complexité de la gestion de projet

Le travail effectué en amont pour définir nos objectifs s'est avéré trop vaste, nous nous sommes penchés sur un grand nombre de thématiques, notamment environnementales (eau, aire, pollution du sol...). L'un de notre plus gros écueil a été de ne pas avoir su restreindre notre champ de recherche plus tôt, ce qui nous aurait permis de nous concentrer sur des questions techniques beaucoup plus tôt et d'alléger les dernières semaines de projet.

## B. Évolutions possibles de l'application

A l'heure actuelle, nous avons ciblé sept axes d'évolution qui paraissent essentiels, pour que l'application délivre tout son potentiel. Cependant, il reste compliqué de déterminer si toutes ces fonctionnalités ne risquent pas de trop complexifier l'application et d'en détourner de potentiels utilisateurs.

1. **Ajouter de nouvelles données** : comme le cible un article de Sophie Baudet-Michel et Christina Aschan-Leygonie, les risques sanitaires liés à la pollution de l'air résident non seulement dans les PM10 mais également dans la concentration d'azote et les PM2.5 (particules dont le diamètre est supérieur à 2.5  $\mu\text{m}$ ). L'ajout de ce type de données pourrait enrichir l'analyse. La population globale pourrait également être prise en compte.
2. **L'ajout de nouvelles thématiques** : nos champs de réflexion étaient à l'origine très vastes, ils comprenaient des données sur la pollution des sols, l'eau, la végétalisation... autant d'informations qui pourraient enrichir les visualisations.
3. **Une approche multiscalaire** : nous avons prouvé que des grilles à une résolution de 100m et 500m pouvait s'avérer très intéressantes dans nos études, il serait donc pertinent d'afficher des informations différentes en fonction du niveau de zoom.
4. **Un profil utilisateur** : la gestion de profil offrirait deux avantages majeurs. Cela permettrait dans un premier temps de rendre l'accès aux thématiques dépendant du niveau du joueur. Les analyses multicritères ne seraient disponibles qu'une fois les analyses simples comprises et validées. Dans un second temps, cela renforcerait l'aspect ludique de l'application, des badges seraient décernés à la réalisation de certaines tâches et l'utilisateur pourrait suivre sa progression, ce qui créerait une sorte de fidélisation et ainsi permettre à l'application de rester vivante.
5. **Ajout de règles supplémentaires** : cela permettrait de ne pas perdre à la première bombe rencontrée, l'utilisateur pourrait répondre à une question sur la thématique du jeu en cours afin d'obtenir une seconde chance.
6. **De la donnée participative** : nous avons réfléchi à la création d'un jeu de donnée par les joueurs eux-mêmes. Ainsi un projet a été créé sur la plateforme Epicollect visant à recenser les déchets. Nous ne sommes toutefois pas allés plus loin car la mise en place d'un tel jeu de donnée demande un certain temps avant d'être suffisamment mature pour être rendu disponible au joueur.
7. **Complexifier l'analyse** : l'analyse multicritère utilisable à l'heure actuelle peut être contestable. Nous avons adapté le poids de deux variables au vu de l'analyse que l'on pouvait tirer de ces dernières, mais il pourrait en être autrement. Ainsi une personne plus intéressée par l'analyse spatiale devrait avoir la possibilité d'interférer sur l'analyse multicritère en choisissant elle-même quel serait le poids de chacune des variables.

## VIII. Retour sur le projet

Nous sommes satisfaits d'avoir réussi à produire une application interactive et ludique qui fonctionne en un temps restreint. Elle nécessite encore un débogage et pourrait être grandement amélioré. Toutefois, ce projet nous a permis de nous confronter à notre positionnement géomatique et à la vie d'un projet, avec toutes ses joies et ses difficultés. Nous avons réussi à manœuvrer le projet et le groupe de manière à réaliser cette application en développant deux des fonctionnalités qui nous tenaient à cœur : le choix de l'emprise et la double légende.

A l'inverse, nous avons fait face à notre lot d'imprévus, dont nous avons pâtit du fait de l'absence de marge de manœuvre que nous avons au niveau du temps. Cela aurait pu en être autrement avec un approfondissement technique plus précoce de notre réflexion applicative. La gestion de projet est un exercice complexe, nécessitant beaucoup de rigueur et une bonne communication. L'un des défis les plus cruciaux a été de maintenir le projet sur une durée aussi longue, notamment durant le mois de janvier, durant lequel d'autres projets occupaient déjà nos journées. Nous sommes toutefois parvenus à faire des points assez régulièrement afin de ne pas perdre le cap du projet.

Au-delà des considérations opérationnelles, qui ont pu être sources de frustrations, ce projet nous a été très bénéfique pour le développement et la mise en pratique de nos compétences géomatiques, à quelques semaines du début des stages.

## IX. Sources

### A. Webographie

- Le développement soutenable, une approche à 360°, Fondation pour les générations futures, 2014.  
<https://www.foundationfuturegenerations.org/fr/developpement-soutenable>
- Site du ministère de la transition écologique et solidaire, La stratégie nationale de transition écologique vers un développement durable 2015-2020.  
<https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/strategie-nationale-transition-ecologique-vers-developpement-durable-2015-2020>
- “Sustainable development in the European union : key messages”, Eurostat, 2015.  
<https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/6987735/KS-GU-15-001-EN-N.pdf/425b049b-cc3d-447b-84d7-0d06a39c261f>
- Site de l’OMS, Qualité de l’air ambiant et santé, 2 mai 2018  
[https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)
- Site d’AirParif, Les critères nationaux de qualité de l’air  
<https://www.airparif.asso.fr/reglementation/normes-francaises>
- Tutorial Flask avec Leaflet, Loading External GeoJSON : A(nother) way to do it with JQuery, *Medium.com*, février 2017  
<https://medium.com/@maptastik/loading-external-geojson-a-nother-way-to-do-it-with-jquery-c72ae3b41c01>
- dbaston, SQL query to have a complete geojson feature from PostGIS, *gis.stackexchange.com*, février 2018  
<https://gis.stackexchange.com/questions/112057/sql-query-to-have-a-complete-geojson-feature-from-postgis/191446#191446>
- **Pollution de l’air**, Données ATMO : [http://data-atmoaura.opendata.arcgis.com/datasets/4eca182ed791473aaa63bd861d10ebde\\_0?geometry=2.600%2C45.482%2C6.772%2C46.152](http://data-atmoaura.opendata.arcgis.com/datasets/4eca182ed791473aaa63bd861d10ebde_0?geometry=2.600%2C45.482%2C6.772%2C46.152)
- **Applications inspirantes :**
  - Jeu géographique :  
<https://www.jeux-geographiques.com/jeux-en-ligne-Jeu-Villes-de-France-pageid39.html>
  - Bruitparif :  
<https://carto.bruitparif.fr/>
  - Greenpeace, Votre enfant respire-t-il un air trop pollué ?  
<https://www.greenpeace.fr/pollution-ecole/lyon/>
  - Site de l’association Respire, Carte de la pollution de l’air dans les écoles [lien mort], mai 2019 <https://www.respire-asso.org/pollution-de-lair-dans-les-ecoles/>

## B. Bibliographie

Sophie Baudet-Michel, Christina Aschan-Leygonie Risque, Vulnérabilité, Résilience : comment les définir dans le cadre d'une étude géographique sur la santé et la pollution atmosphérique en milieu urbain ?, 2009.

(<https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00414770/>)

## X. Annexes

### A. Liste détaillée des données explorées

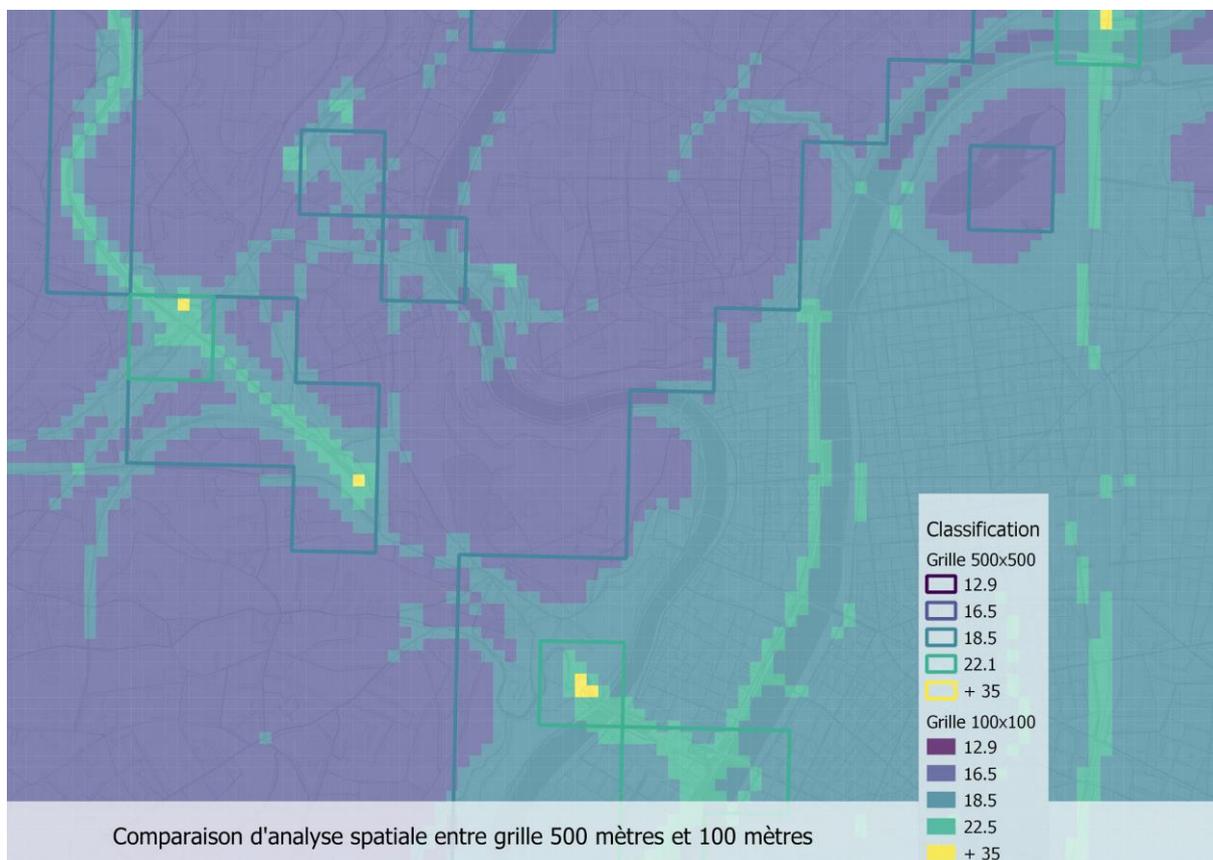
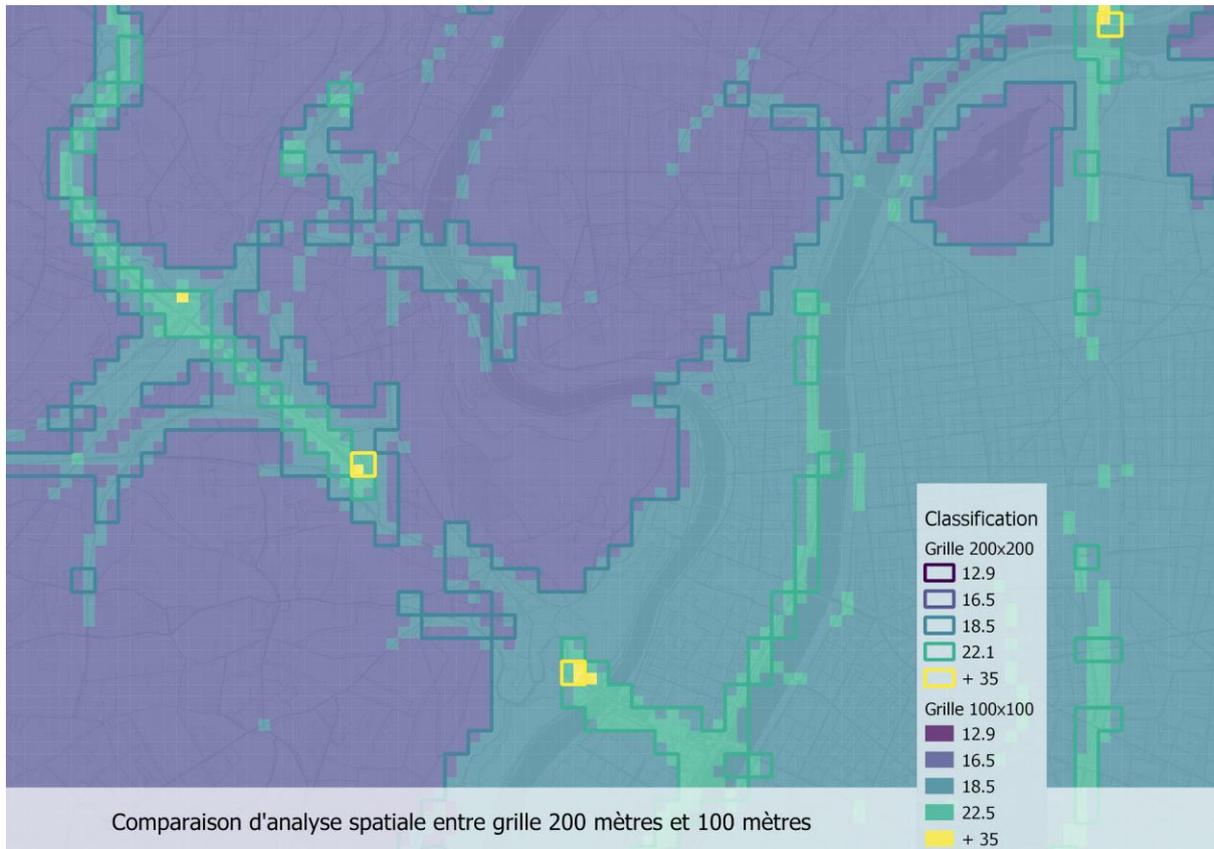
Thématique	jeu de donnée	fournisseur	régularité de mise à jour (avec date de dernière maj)
changement climatique	Arrêtés de Catastrophes naturelles liées à la sécheresse	Géorisques	j+30 après arrêté (12/2019)
	Pluviométrie		
influences anthropiques	Prélèvements d'eau	BNPE	2017 (annuel)
	Basol (sites et sol pollués)	Ministère TES	oui (2019)
	Basias	MTES	oui (2019)
	Base des installations classées	Ministère TES -Géorisques	quotidienne (08/12/2019)
	Concentration annuelle des polluants	ATMO	annuelle en n-1 (2018)
	Stations de mesure de l'air	ATMO	annuelle (2019)
	Déchetteries, centres de traitement, méthanisation	SINOE	annuel (2019)
(dés)artificialisation des sols	Volume d'achat de pesticides	Agence française pour la biodiversité	inconnue : donnée nouvelle (2018)
	Corinne Land Cover	MTES/IGN	tous les 6 ans - 2018
(dés)artificialisation des sols	RPG	IGN	annuel en n-2 - 2017
	Surfaces en agriculture bio	Agence Bio	annuelle ? (juin 2019 pour données 2018)

#### 1ere partie

Thématique	jeu de donnée	obtention de la donnée possible ?	échelle	type
changement climatique	Arrêtés de Catastrophes naturelles liées à la sécheresse	oui	commune	tableur
	Pluviométrie			
influences anthropiques	Prélèvements d'eau	oui	station	vecteur ponctuel
	Basol (sites et sol pollués)	oui	site pollué	vecteur ponctuel
	Basias	oui	site pollué	vecteur ponctuel
	Base des installations classées	oui	établissement, regroupés par département	vecteur ponctuel
	Concentration annuelle des polluants	oui - via flux WFS pour 2014 et 2018	station	vecteur ponctuel
	Stations de mesure de l'air	oui	station	vecteur ponctuel
	Déchetteries, centres de traitement, méthanisation	oui - par type	site	vecteur ponctuel
(dés)artificialisation des sols	Volume d'achat de pesticides	oui	commune	tableur
	Corinne Land Cover	oui	>25 ha	vecteur polygone
	RPG	oui	parcelle	vecteur polygone
(dés)artificialisation des sols	Surfaces en agriculture bio	oui	commune (attention quand secret stat)	tableur

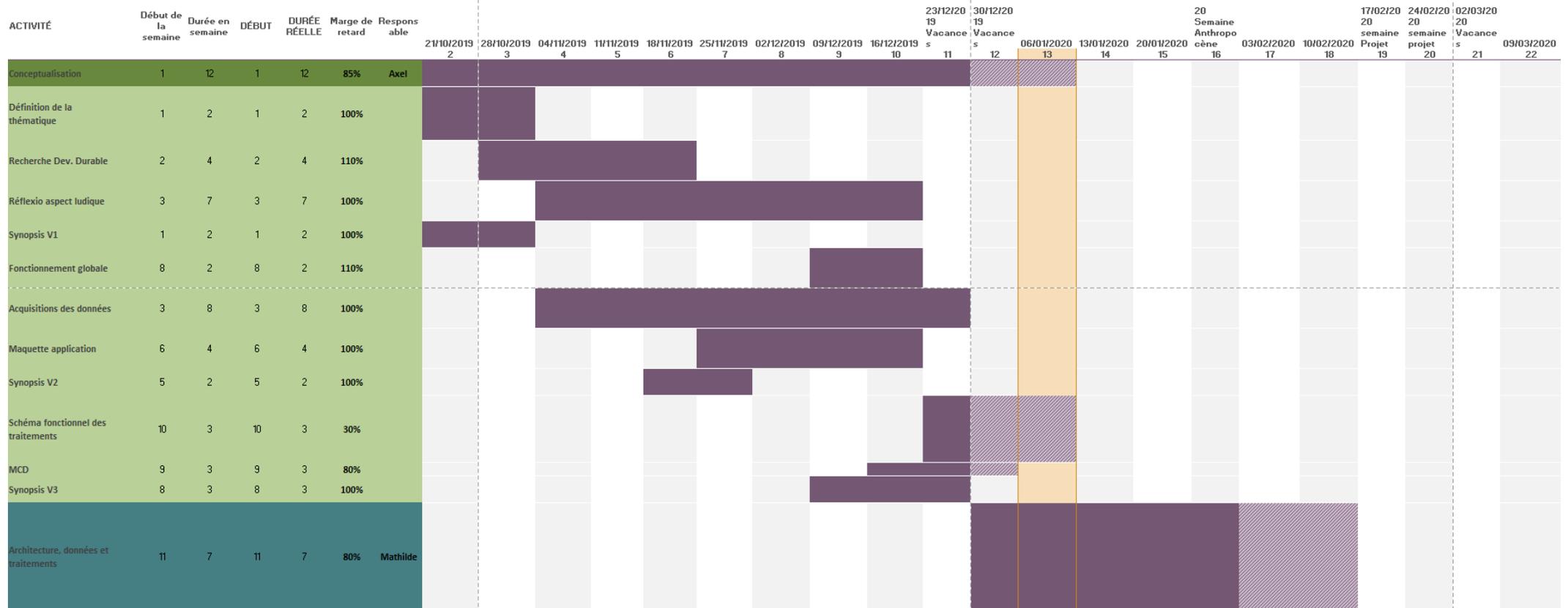
#### 2ème partie

## B. Analyses comparatives entre maillages 100, 200 et 500m



## C. Planning générale du projet

### Démineur durable





# Démineur durable

ACTIVITÉ	Début de la semaine	Durée en semaine	DÉBUT	DURÉE RÉELLE	Marge de retard	Responsable	21/10/2019	28/10/2019	04/11/2019	11/11/2019	18/11/2019	25/11/2019	02/12/2019	09/12/2019	16/12/2019	23/12/2019	30/12/2019	06/01/2020	13/01/2020	20/01/2020	27/01/2020	03/02/2020	10/02/2020	17/02/2020	24/02/2020	03/03/2020
							2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Implémentation des niveaux de maille différents	15	3	15	3	90%	Mathilde																				
Documentations des données, méthodes, résultats	9	10	9	10	90%	Lucas																				
Développement applicatif	16	6	16	6	90%	Corentin																				
Liste des fonctions à utiliser (JS, HTML, CSS)	16	1	16	1	100%	Axel																				
Script démineur	17	2	17	2	100%	Axel																				
Script carto	17	4	17	4	70%	Corentin																				
Branchement sur le serveur applicatif	17	2	17	2	70%	Lucas																				
Mise en page des pages web	18	3	18	3	70%	Mathilde																				
Implémentation des fonctions sur les pages web	18	3	18	3	70%	Lucas																				
Tests	19	2	19	2	100%	Corentin																				
Descriptions textuelles de l'appli	17	3	17	3	70%	Lucas																				

# Démineur durable

ACTIVITÉ	Début de la semaine	Durée en semaine	DÉBUT	DURÉE RÉELLE	Marge de retard	Responsable	21/10/2019	28/10/2019	04/11/2019	11/11/2019	18/11/2019	25/11/2019	02/12/2019	09/12/2019	16/12/2019	23/12/2019	30/12/2019	06/01/2020	13/01/2020	20/01/2020	27/01/2020	03/02/2020	10/02/2020	17/02/2020	24/02/2020	03/03/2020	
							2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Rédactions	1	22	1	22	90%	Lucas																					
Ecriture rapport (FR + ANG)	19	3	19	3	80%																						
Préparation présentation orale (PPT + vidéo)	20	2	20	2	100%																						
Présentation Final	22	1	22	1	100%																						
Options	20	2	20	2	0%																						
Page recensement	20	2	20	2	0%																						
Page profil utilisateur	20	2	20	2	0%																						
Données déchets	20	2	20	2	0%																						

## D. Planning prévisionnel de l'atelier

Gestion de projet

Point avec enseignant

Cours ajouté

Développement

Développement difficile

Assemblage mise en commun

S1	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
9h00	Réunion Préparatif Organisation	Classification des géométrie	Réunion Bilan		
10h00		Nombre bombe à proximité		Application V0 interface final	Mise en ligne demo test
11h00	Point Laverty		Point Mathian		
12h00					
13h00	Découverte des cases au clique	Point Mathian			Analyses des retour demo/bug
14h00	Placement des bombes		Compléter et partager le server	Gestion fin de partie	
15h00		Serveur fonctionnel			
16h00		Nombre bombe a proximité	Nombre bombe et drapeau		Cours d'Anglais
17h00	Cours d'Anglais			Assemblage JS et HTML/CSS	
18h00					Réunion Bilan

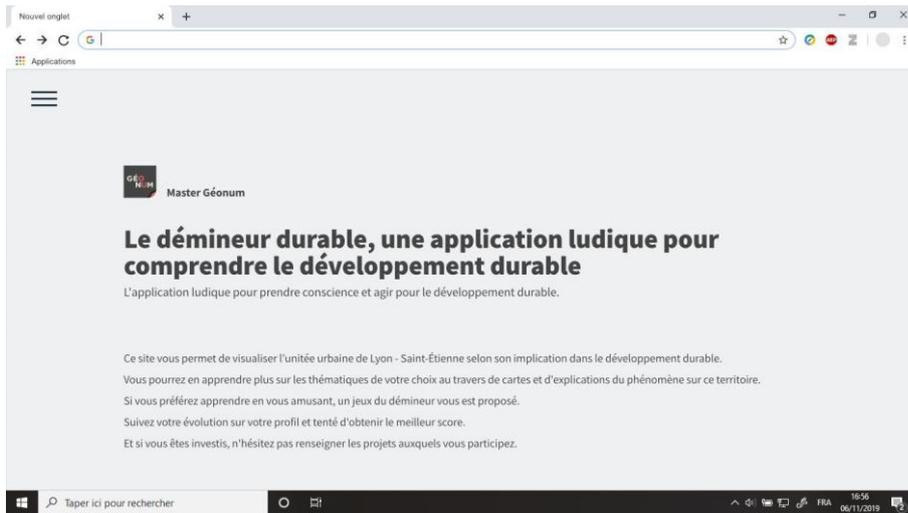
S2	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
9h00	Réunion Organisation	Choix de l'emprise	Question Bombe	Verification diapo	Assemblage Version finale et Correction des bugs
10h00		Information pop up de partie	Double légende	Entraînement oral	
11h00	Point Gesquières		Point Mathian		
12h00		Point Cunty			
13h00				Impression Flyer	
14h00			Rapport V1	Point bilan	Rapport
15h00				Présentation Anglais	
16h00	Assemblage des versions	Choix de l'emprise	Finir interface finale	Rendu Flyer	Vidéo et diapo
17h00	JS HTML CSS SERVER	Double légende			
18h00			Gestion du flyer	Réunion Bilan	Réunion Bilan

## E. Planning effectivement réalisé atelier

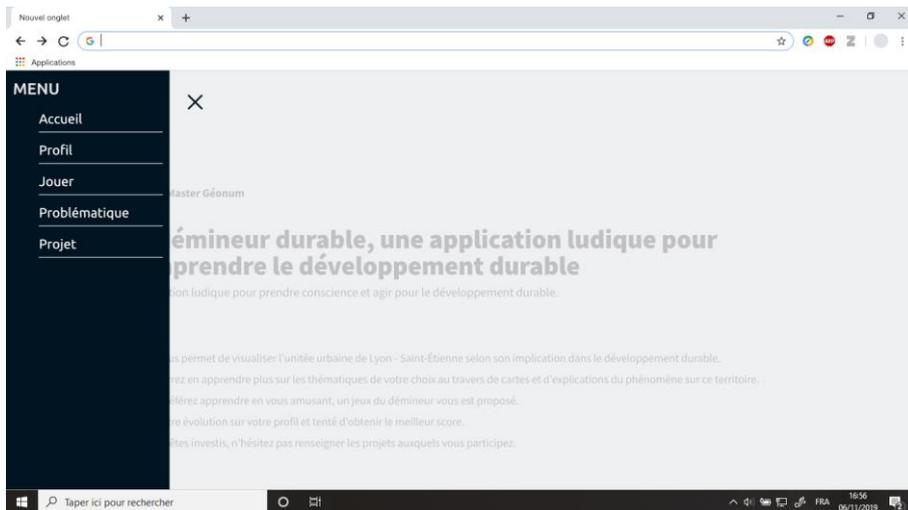
S1	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
9h00	Réunion Préparatif Organisation	Classification des géométrie	Réunion Bilan	Application V0 interface final	Double légende
10h00	Point Laverty		Assemblage JS et HTML/CSS		
11h00	Placement des bombes	Nombre bombe et drapeau	Point Mathian		
12h00					
13h00	Découverte des cases au clique	Point Mathian	Compléter et partager le serveur	Double légende	Analyses des retour demo/bug
14h00	Nombre bombe à proximité	Gestion fin de partie			
15h00			Information pop up fin de partie		
16h00	Cours d'Anglais				Double légende
17h00				Refonte de la base de données + comparaison des analyses multiscalaires	
18h00			Mise en ligne demo test		

S2	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi
9h00	Réunion Organisation	Choix de l'emprise	Re creation d'une VM plus légère pour l'ensemble du groupe	Verification diapo	Assemblage Version finale et Correction des bugs
10h00	Point Gesquière			Double légende	
11h00	Assemblage des versions JS - HTML CSS - SERVER	Point Cuntty	Rapport V1	Impression Flyer	Double légende correction bug
12h00					
13h00	Double légende	Choix de l'emprise	Validé interface finale	Présentation Anglais	Rapport
14h00					
15h00	Début rapport	Gestion du flyer	Réunion Bilan	Réunion Bilan	Réunion Bilan
16h00					
17h00					
18h00					

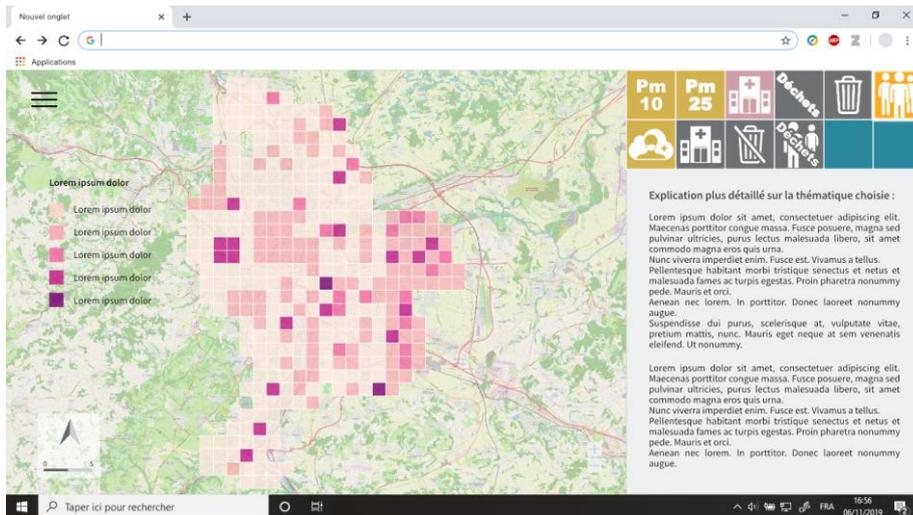
## F. Maquette de l'interface



*Page d'accueil*



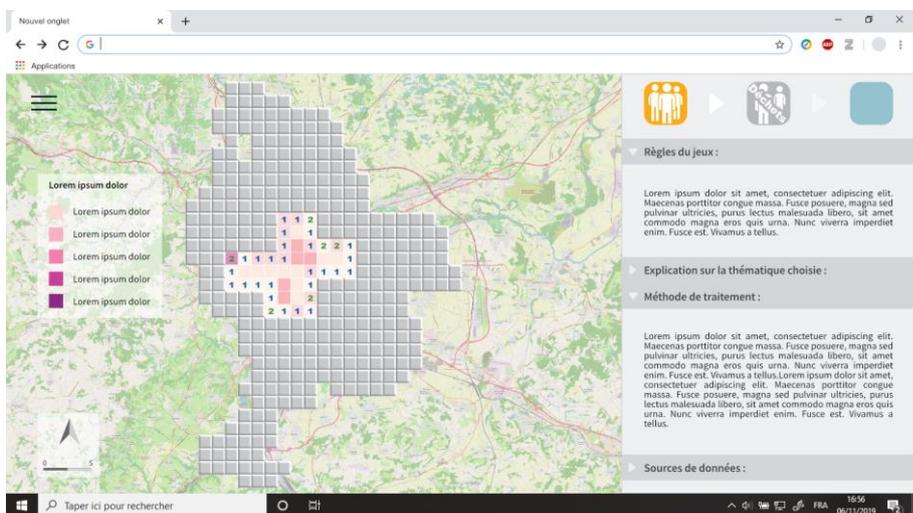
*Menu déroulant*



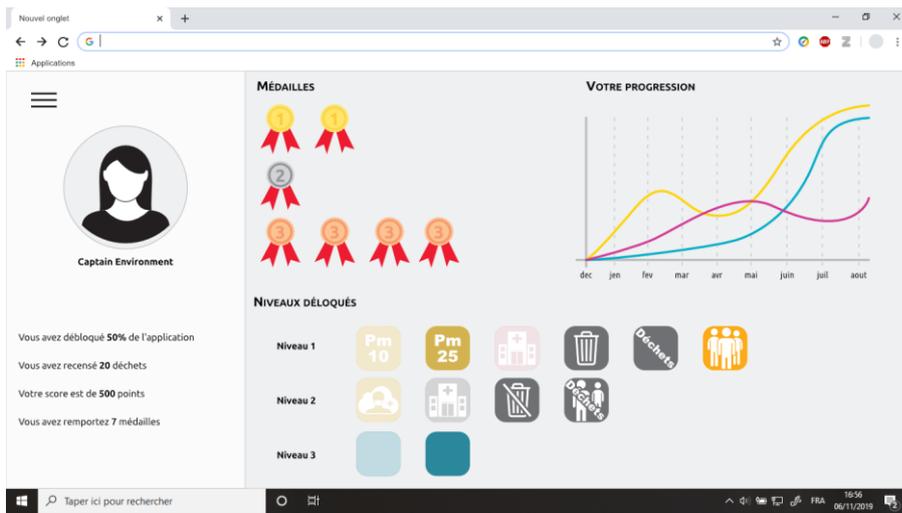
Visualisation



Accès aux thématiques de jeu débloquées



Interface de jeu



*Profil utilisateur*

## G. Table des figures

- Figure 1 : Zoom sur le tunnel de Rochechardon - p.9
- Figure 2 : Conversion des structures sensibles en maillage de point - p.10
- Figure 3 : Cas d'incompatibilité entre le maillage et le jeu - p.12
- Figure 4 : Première version du modèle de données - p.15
- Figure 5 : Version final du modèle de données - p.15
- Figure 6 : Schéma du fonctionnement d l'application - p.16
- Figure 7 : Capture d'écran de la page d'accueil - p.17
- Figure 8 : Capture d'écran de la page de visualisation - p.18
- Figure 9 : Bandeau page de jeu - p.19
- Figure 10 : Choix de l'emprise - p.20
- Figure 11 : Bouton d'information - p.20
- Figure 12 : Découverte de case vierge en jeu - p.20
- Figure 13 : Découverte de case à proximité de bombes - p.21
- Figure 14 : Partie en cours sur la thématique pollution de l'air - p.21
- Figure 15 : Partie gagné - p.22
- Figure 16 : Partie perdue - p.22
- Figure 17 : Grille découverte en fin de partie et accès aux informations de chaque objets - p.22
- Figure 18 : Fonctionnement du server - p.23
- Figure 19 : Schéma de fonctionnement de la page visualisation - p.27
- Figure 20 : Schéma de fonctionnement de la page jeu - p.28
- Figure 21 : Logo interactifs des thématiques -p.30
- Figure 22 : Logo interactifs des thématique au passage de la souris - p.30
- Figure 23 : Bouton donnant accès aux information complémentaires des thématiques - p.30
- Figure 24 : Info-bulle liée au bouton thématique (thématique active : structures sensibles). - p.31
- Figure 25 : Info-bulle liée au bouton méthodes de traitements (thématique active : structures sensibles). - p.31
- Figure 26 : Info-bulle liée au bouton source (thématique active : structures sensibles). - p.32
- Figure 27 : Bouton figurant au bas de la carte jeu - p.32
- Figure 28 : Bouton et pop-up menu - p.32
- Figure 29 : Double légende pour chacune des thématiques - p.33
- Figure 30 : Palette de couleur étudié pour la double légende - p.34
- Figure 31 : Charge de travail pour les différents aspects du projet - p.37
- Figure 32 : Récapitulatif des compétences développées par chaque membre du groupe au cours du projet - p.38
- Figure 33 : Outil mis à profit pour la gestion de projet - p.39