

GeoTechMap

*Projet de fin d'étude présenté en vue de l'obtention
du diplôme d'ingénieur électronique*

*Création d'une base de données documentaire et
cartographique pour la gestion des résultats
d'essais géotechniques.*

DUBUCHE Kevin J. & THÉODORE Barbara G. • 2021 • Haïti

GeoTechMap

DUBUCHE Kevin J. & THEODORE Barbara G.

Faculté Des Sciences de l’Université d’État d’Haïti
Génie Électronique
2019-2020

12 mai 2021

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
Remerciements	iii
Glossaire	iv
1 Contexte	1
1.1 Introduction	1
1.1.1 Généralités	2
1.1.2 Problématique	7
1.1.3 Panorama du projet	7
1.2 Étude de l'existant	8
1.2.1 Les BDD géotechniques dans le monde	8
1.2.2 Avantages d'un Système de gestion des Informations Géotechniques	11
1.3 La solution proposée	16
1.3.1 Les apports de cette solution	16
1.3.2 Analyse des risques	17
1.4 Cheminement de la solution	18
1.4.1 Implémentation d'une BDD géotechniques	18
1.4.2 Utilisation d'un SIG	19
1.4.3 Visualisation des données	20
1.5 Perspective de réalisation	21
2 Analyse des besoins	22
2.1 Approche de travail	22
2.1.1 Le génie logiciel	22
2.1.2 Le cycle de vie du logiciel	24
2.2 Méthodologie	24
2.3 Préparation des documents	28

TABLE DES MATIÈRES

2.4	Conceptualisation	29
2.5	Besoins et contraintes	29
2.6	Modélisation avec UML	32
2.6.1	Diagrammes des cas d'utilisation	33
2.6.2	Diagramme de classes	37
2.6.3	Diagramme d'objets	38
2.6.4	Diagramme d'activités	39
2.6.5	Diagramme de séquence	40
2.7	Structure modulaire	41
3	Implémentation	47
3.1	Choix des technologies	47
3.1.1	Frontend	47
3.1.2	Backend	49
3.2	La hiérarchie de l'application	55
3.3	Ergonomie	56
3.4	Déploiement	57
3.5	Sécurité du système	58
3.5.1	Sécurité de l'application web	58
3.5.2	Sécurité du server web	61
3.5.3	Sécurité de la base de données	61
3.6	Limitations du système	62
3.7	Coûts	62
4	Conclusion	63
4.1	Ameliorations futures	63
4.1.1	Suite du projet	63
4.1.2	Défis rencontrés	63
4.1.3	Propositions	64
4.2	Bilan	64

Table des figures

1.1	Exemple de résultat d'un essai pénétrométrique dynamique [3]	2
1.2	Cartographie d'Haïti, Synthèse des menaces naturelles [2]	3
1.3	Bidonvilles aux alentours de Port-au-Prince [43]	4
1.4	Glissement de terrain à Musseau (photo Le Nouvelliste)	4
1.5	Visualisation des résultats de la base de données de Canterbury [57].	9
1.6	Webmap de la BDG du gouvernement du Canada [13]	10
1.7	PDF d'un rapport de sondage de la BDG du gouvernement du Canada [11]	11
1.8	Information sur une étude spécifique dans le Geotechnical Web Mapping App [12]	13
1.9	Webmap de SERNAGEOMIN [10]	14
1.10	Cheminement de la solution	20
2.1	Modèle du cycle de vie en cascade [28]	24
2.2	Modèle du cycle de vie en V [28]	25
2.3	Aperçu des méthodologies agiles pour le développement de logiciels [7]	25
2.4	Diagramme des cas d'utilisation général	34
2.5	Diagramme des cas d'utilisation : parcourir le webmap	36
2.6	Diagramme des cas d'utilisation : Gestion des données liées aux essais géotechniques	37
2.7	Diagramme de classe	38
2.8	Diagramme d'objet	39
2.9	Diagramme d'activités	40
2.10	Diagramme des séquences : CRUD ressources (pattern)	44
2.11	Diagramme des séquences : gestion des ressources par l'administrateur	45
2.12	Diagramme des séquences : visiteur utilisant le webmap	46
3.1	Modèle du cycle de vie en cascade [32]	48
3.2	Pourcentage du trafic du site Web sur les appareils mobiles dans le monde du 1er trimestre 2015 au 3ème trimestre 2020 [21]	49

Liste des tableaux

1.1	Principaux problèmes liés à la gestion des données géotechniques en Haïti	7
1.2	Présentation de quelques BDD géotechniques dans le monde .	12
1.3	Liste de quelques avantages d'une base de données géotechniques	15
2.1	Quelques facteurs sur lesquels repose la qualité de GéoTechMap [28]	23
2.2	Comparaison de Scrum et Kanban	28
2.3	Exemple de cartouche sur un document d'étude géotechnique .	28
2.4	Tableau des utilisateurs et de leurs besoins	32
3.1	Les technologies utilisées pour le développement du frontend de GeoTechMap	50

Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre du projet **Kay Nou Tek** financé par l'Ambassade de Suisse en Haïti. L'Unité de Recherche en Géoscience (URGéo) a pour objectif de concevoir et de réaliser une application web permettant la mise en ligne gratuite de certaines informations contenues dans les tests géotechniques réalisés par elle et d'autres laboratoires. Par ailleurs, elle sera responsable de la collecte des informations, de leur tri, de l'alimentation de l'application et de sa gestion.

La première phase du projet consiste à réaliser la base de données géotechniques . Cette dernière permettra de mutualiser les données sur le sous-sol haïtien accumulées par différents organismes, tant publiques que privées, au cours de ces 50 dernières années. Ensuite il sera question d'exploiter ces données dans un Système d'Information Géographique (SIG) afin de faciliter leur visualisation dans une application Web¹. Celle-ci constituera donc un espace partagé permettant à ces différents organismes de centraliser et de gérer une banque de données géotechniques.

1. La totalité des codes est disponible en ligne sur GitHub : <https://github.com/geotech>. L'application est accessible via l'adresse : <https://geotech.ht>

Abstract

This work is part of the Kay Nou Tek project funded by the Swiss Embassy in Haiti. The objective of the Unité de Recherche en Géoscience (URGéo) is to design and produce an application allowing the free online posting of certain information contained in the geotechnical tests carried out by it and other laboratories. In addition, she will be responsible for collecting information, sorting it, feeding the application and managing it.

The first phase of the project consists of creating the geotechnical database . The latter will allow data to be pooled on the Haitian subsoil accumulated by various organizations, both public and private, over the past 50 years. Then it will be a question of exploiting these data in a Geographic Information System (GIS) in order to facilitate their visualization in an application. This Web application² will therefore constitute a space shared allowing these different organizations to centralize and manage a bank geotechnical data.

2. All the codes are available online on GitHub : <https://github.com/geotech>. The application is accessible via the address : <https://geotech.ht>

Remerciements

Ce projet de fin d'études représente l'aboutissement de notre formation d'ingénieur électronique. Nous tenons à réserver ces quelques lignes pour exprimer notre reconnaissance aux personnes qui nous ont apporté leur support pour réaliser ce travail :

- Merci à l'URGéo pour nous avoir fait confiance et donné ce formidable projet ;
- Merci à nos encadreurs en chef : M Dominique Boisson et Mme Tayana Étienne pour leurs propositions et leurs critiques qui nous ont aidés à nous surpasser ;
- Merci à nos tuteurs directs M Kelly Guerrier et M Karl Henry Victor pour leurs jugements très fructueux et leur encadrement général ;
- Merci à M Elysée Villiard pour l'encadrement continu particulièrement au niveau de la programmation et de la base de données ;
- Merci à Mme Anne Doris Vital pour le support très utile en sécurité informatique ;
- Merci à l'URGéo et la MBDS pour l'encadrement général ;
- Merci aux professeurs Jacques Faubert Etienne, ... ;
- Merci au stagiaire Droogleever Fortuyn Mélanie Sarah pour ses commentaires très précieux à chaque étape et son implication sans précédent ;
- Merci à nos beta testeurs ... ;
- Merci aux partenaires : KAYTEK, MBDS, Université Quisqueya... ;
- Merci à la communauté FDS pour tout ce qu'elle nous a appris tant moralement que professionnellement ;
- Merci à Rodmy G. Sully Guerrier, Stanley Laguerre... pour leur aide précieuse au niveau du document ;
- Merci à tous ceux qui nous ont apporté une aide particulière de quelle manière que ce soit.

Glossaire

URGéo : L'Unité de Recherche en Géosciences a pour mission de mener des recherches dans le domaine de géoscience³.

BME Le Bureau des Mines et de l'Energie est un organisme autonome créé en 1986 fonctionnant sous la tutelle du Ministère des Travaux Publics, Transports et Communications (MTPTC)⁴.

SICOD La Société d'Ingénierie Constructions et d'Orientations Diverses, fondée en 2011, est une société haïtienne en noms collectifs qui évolue dans les domaines d'ingénierie géotechnique et de constructions.

LNBTP Le Laboratoire National Du Bâtiment et des Travaux Publics est une institution publique à gestion autonome chargée du contrôle de la qualité des infrastructures en construction dans le pays. Il s'occupe aussi des études géotechniques, des recherches appliquées sur les matériaux de construction et de la promotion des normes en matière de génie civil⁵.

Géotechsol Géotechsol est un bureau d'études en ingénierie géotechnique et environnemental ainsi qu'en formulation de béton et ses essais mécaniques et physiques⁶.

SIG ou GIS : Un Système d'Information Géographique ou SIG (en anglais, Geographic Information System) est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques.

3. Lien du site de l'URGéo : www.urgeo.net/

4. Lien du site du BME : www.bme.gouv.ht/

5. Lien du site du LNBTP : www.lnbtp.gouv.ht/

6. Lien du site de Géotechsol : www.geotechsol.com/

ISO : International Organization for Standardization. L'Organisation internationale de normalisation généralement désignée sous son sigle : ISO, est un organisme de normalisation international composé de représentants d'organisations nationales de normalisation de cent soixante-quatre (164) pays.

CSV : Un fichier CSV (en anglais, Comma Separated Values) est le fichier de base des données recueillies - sans formatage particulier. Chaque champ est séparé par une virgule.

UI : Cela signifie interface utilisateur (User Interface). Il s'agit du lien direct entre l'utilisateur (le visiteur) et la machine (le programme ou la plateforme qui a permis de construire le site web). De nombreux éléments entrent dans l'UI design : la typographie, la police, la taille et la couleur d'écriture, les visuels, la charte graphique, l'identité visuelle, la charte éditoriale, ou même l'intuitivité.

UX : UX Design ou expérience utilisateur (User eXperience) est un ensemble de techniques permettant de concevoir un site internet dans lequel le visiteur navigue de manière optimale. Le but est d'améliorer l'interaction entre l'homme et la machine.

WGS84 : World Geodesic System (Système géodésique mondial) - révision de 1984. C'est un système de coordonnées terrestres, basé sur un géoïde de référence prenant la forme d'un ellipsoïde de révolution. Il est défini par un ensemble de paramètres primaires et secondaires : les paramètres primaires définissent la forme de l'ellipsoïde de la terre, sa vitesse angulaire, et sa masse. les paramètres secondaires définissent un modèle détaillé de la pesanteur terrestre.

Chapitre 1

Contexte

1.1 Introduction

Avant d'investir des millions de dollars et des centaines d'heures dans la construction d'un bâtiment, les propriétaires fonciers doivent savoir si le plancher peut supporter le bâtiment en question. Un sous-sol inadéquat à un type de construction peut conduire à des dommages considérables. Au pire, cela peut causer des pertes en vies humaines en cas d'effondrement.

De ce fait, il est nécessaire de recourir au préalable à des études de sol. Malgré la valeur que peut coûter de telles études, que ce soit en termes économique et/ou temporel, les caractéristiques d'un sol restent une information essentielle à bien des égards. Par conséquent, des études sont réalisées lors de la construction de grandes infrastructures ou de routes.

Vu l'importance capitale qu'ont les données géotechniques, l'URGéo a mis sur pied un projet visant à les exploiter au mieux. Ce mémoire s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre l'URGéo et Kay Nou Tek. Ce projet est financé par l'Ambassade de Suisse en Haïti et a pour objectif d'explorer le potentiel du numérique pour améliorer les pratiques de construction. Le but principal de ce travail est d'apporter une solution technologique qui facilitera la gestion des données géotechniques en Haïti.

Ce document comporte deux grandes parties : une première axée sur la théorie, se focalisant sur le contexte et les avantages de la réalisation d'un tel projet. La seconde partie est plus pratique et combine le travail de l'ingénieur logiciel et des analystes programmeurs responsables du projet.

1.1. INTRODUCTION

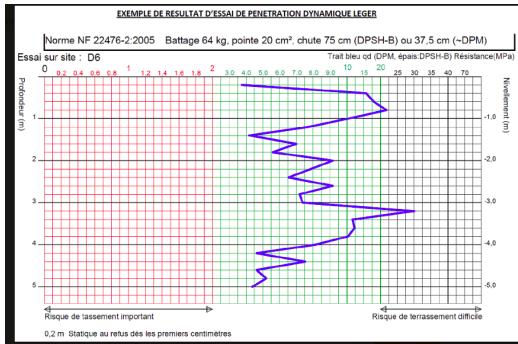


FIGURE 1.1 – Exemple de résultat d'un essai pénétrométrique dynamique [3]

1.1.1 Généralités

La géotechnique, pourquoi est-ce important ?

La **géotechnique** est l'ensemble des activités liées aux applications de la mécanique des sols, de la mécanique des roches et de la géologie de l'ingénieur¹. Au cours d'un projet d'aménagement, dans le but d'assurer la fiabilité et la durabilité des ouvrages, le constructeur est dans l'obligation de prendre en compte la nature du sous-sol du site où il est prévu de construire.

Il s'agit en fait d'adapter le projet au site envisagé.

La mission du géotechnicien consiste principalement à [34][29] :

- définir les cadres géologique, hydrogéologique et topographique du site étudié ;
- définir les aléas existants vis-à-vis des risques naturels : détection des cavités, stabilité général d'un site (par rapport au glissement de terrain par exemple), sismicité.
- définir les terrassements : faisabilité, réemploi des matériaux, tenus des talus et parois des fouilles ;
- définir l'influence des circulations d'eaux souterraines, agressivité de l'eau vis-à-vis des bétons ;
- définir comment la nature et la répartition des formations géologiques pourrait influencer la réalisation des travaux et la conception de l'ouvrage.

En général, le géotechnicien résume sa mission dans un rapport. Ce rapport comprend les résultats des différents tests (Figure 1.1) réalisés : essais de pénétration, forages, essais de laboratoire, essais géophysiques, etc.

1. Définition selon l'Union syndicale géotechnique accessible via ce lien : <http://u-s-g.org/profession-geotechnicien.asp?idpage=1>

1.1. INTRODUCTION



FIGURE 1.2 – Cartographie d’Haïti, Synthèse des menaces naturelles [2]

Ce rapport est rédigé non seulement dans le but d’informer le client sur la nature des interventions , mais aussi d’exposer les principaux résultats des tests recueillis, de façon à mener à bien l’exécution des projets.

La zone d’étude de ce projet correspond à Haïti (Figure 1.2). Ce pays situé dans les Caraïbes a une superficie de 27 750 km²[19]. L’importance des données géotechniques s’est montrée incontournable dans ce pays particulièrement après un séisme dévastateur en Janvier 2010.

Vulgairement appelé *Goudougoudou*, un séisme de magnitude 7[48] sur l’échelle de Richter, a fait de grands ravages sur l’île. Les pertes enregistrées, tant en vies humaines qu’en biens matériels, ne faisaient que refléter l’ignorance de certains et le laisser-aller des autres. Des bâtiments construits défavorablement, des ravines devenues des villages ou simplement des constructions effectuées sur un sol inadéquat ; telles étaient les causes majeures de ces pertes. En Haïti, le plus souvent les constructions sont pris à la légère. *Un recensement national en 2003 a rapporté que 8% des bâtiments dans les zones urbaines d’Haïti sont les bidonvilles (Figure : 1.3) , connus sous le nom de kay atè, et 78% des maisons sont des maisons en blocs de béton à un étage*

1.1. INTRODUCTION



FIGURE 1.3 – Bidonvilles aux alentours de Port-au-Prince [43]



FIGURE 1.4 – Glissement de terrain à Musseau (photo Le Nouvelliste)

ou à plusieurs étages [38]. L’ image 1.4 est une représentation typique des nombreux exemples de dégâts causés par un glissement de terrain à Musseau en 2008.

Le tremblement de terre du 12 Janvier 2010 a ravagé le pays en tuant plus de 200000 personnes, détruisant 105 000 bâtiments et endommagé 280 000 bâtiments [48]. Ce qui a abouti à près d’un million de sans-abris selon le journal *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions* [37]. Avec une étude de sol et des données géotechniques adéquates, un ingénieur pourrait orienter son travail en connaissance de cause. Par conséquent, depuis maintenant une bonne décennie, les demandes se multiplient pour l’accès à ces informations.

Production et gestion des données géotechniques en Haïti

Parallèlement, les outils papier utilisés pour le moment sont très vulnérables à des catastrophes comme des incendies ou des tremblements de terre. La perte des documents de référence entraînerait un travail colossal pour le

1.1. INTRODUCTION

recouvrement des informations relatives à chaque dossier.

Diverses instances détiennent les données recueillies au cours de leurs études géotechniques respectives. Ainsi, lorsqu'un particulier a besoin de faire des études de sols, il fait appel à des instances clés capables de les prendre en charge. Parmi celles que nous avons pu contacter ou avec lesquelles nous avons pu faire un partenariat, citons :

- **URGéo** Unité de Recherche en Géosciences [23]
- **BME** Bureau des Mines et de l'Energie [22]
- **SICOD** Société d'Ingénierie Constructions et d'Orientations Diverses
- **LNBTP** Laboratoire National Du Bâtiment et des Travaux Publics [8]
- **Géothechsol** [4]
- **Insolflor**

En général, ces entreprises s'impliquent dans la construction et/ou la recherche. Leur travail consiste à effectuer une reconnaissance/étude géotechnique des sites . Depuis plusieurs années ils se sont faits remarquer, notamment dans l'étude des sols avant la construction de grands bâtiments. Ils sont aussi impliqués dans la réalisation de ponts et de routes sur le territoire haitien.

Microzonage

A la suite du séisme du 12 janvier 2010, une coopération renforcée entre le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), le Bureau des Mines et de l'Energie (BME) et le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) a débouché sur une proposition de programme de microzonage sismique national sur le territoire d'Haïti. Ce travail a bénéficié de la collaboration du Centre National d'Information Géo-Spatiale (CNIGS) et d'informations et données fournies par l'Université d'Etat d'Haïti (UEH).

Un rapport [30] a été dressé. Il est caractérisé comme étant une synthèse qui s'adresse en premier lieu aux utilisateurs des cartes du microzonage sismique. Le microzonage sismique détermine une catégorisation des sites en fonction de leur niveau de danger et en identifiant les zones où des effets de site importants sont susceptibles de survenir. *Destiné aux décideurs, aux aménageurs, aux constructeurs, aux ingénieurs structure, aux architectes mais aussi au public, le microzonage sismique a un caractère opérationnel, très appliqué, utilisable aussi bien pour la reconstruction des zones détruites du territoire haïtien que pour la mise en place d'une politique préventive d'aménagement du territoire, prenant en compte les risques naturels [30].*

1.1. INTRODUCTION

Cependant un problème persiste : les données recueillies par ces instances ne sont nullement en sécurité car elles sont stockées sur papier ou sur des supports numériques isolés. De plus, le minimum qui est numérisé n'est pas intégré dans un environnement dédié à cela. L'analyse des données géotechniques sur toute l'étendue du territoire devient encore plus difficile car aucune instance ne dispose de l'intégralité des tests effectués. Cela implique une exploitation non optimale de ces données.

Les problèmes actuels

Le plus grand inconvénient dans la gestion actuelle des données géotechniques en Haïti est la sécurité de ces dernières. Cet aspect n'est pas anodin et doit être pris en compte dans la gestion d'un système d'information. Actuellement, les critères fondamentaux de la sécurité des données ne sont nullement en vigueur dans le cadre des Systèmes d'Information Géotechnique.

Confidentialité : On n'a aucune garantie que seules les personnes autorisées aient accès aux données géotechniques. Le fait qu'elles soient stockées sur papier augmente les risques qu'une personne n'ayant pas de droit d'accès puisse s'acquérir ces données.

Intégrité : Actuellement personne ne peut garantir que les données géotechniques que l'on a en notre possession sont bien celles que l'on croit. L'intégrité n'est pas assurée car le risque pour que les données géotechniques soit altérées est trop grand. Il convient de prémunir contre l'altération des données en ayant la certitude qu'elles n'ont pas été modifiées lors de leur stockage, de leur traitement ou de leur transfert.

Disponibilité : C'est l'un des plus grands inconvénients de la gestion actuelle des données géotechniques. Trouver une étude qui a été réalisée dans un endroit précis ou à une date précise n'est pas évidente. Cela coûte beaucoup de temps et de ressources pour effectuer les recherches. Par conséquent, le facteur de disponibilité n'est pas au rendez-vous car le délai d'accès aux informations est trop long.

Divers autres problèmes peuvent être constatés (Tableau : 1.1) dans la gestion des données géotechniques en Haïti. Notamment le fait que ces données ne soient pas à l'abri des catastrophes humaines (sabotage, maladresse, ...) et naturelles (incendies, tremblement de terre, inondation, etc.).

1.1. INTRODUCTION

No	Problèmes
1	Non disponibilité des données
2	Données susceptibles aux catastrophes humaines et naturelles.
3	Risques de récidive des réalisations de test
4	Coûts liés à la gestion archaïque
5	Risque élevée de la non intégrité
6	Les données sont éparpillées
7	Le traitement des données n'est pas évident
8	Non exploitation des données par les spécialistes et universitaires
9	Non exploitation des données par l'état pour les prises de certaines décisions
10	Données non sécurisées

TABLE 1.1 – Principaux problèmes liés à la gestion des données géotechniques en Haïti

1.1.2 Problématique

Comment arriver à créer une base de données permettant de présenter et référencer l'ensemble des données géotechniques dans un Système d'Information Géographique (SIG) ?

1.1.3 Panorama du projet

À l'ère où le numérique prend mondialement son expansion, proposer une solution bien plus efficace et efficiente se fait grandement ressentir. Avant d'entrer d'emblée dans le vif du sujet, nous aborderons d'abord l'état de l'art. Cette phase va nous permettre de capitaliser le savoir et le savoir-faire existants, et de ne pas refaire des expériences qui auraient déjà été faites et dont les conclusions ont déjà été validées par des pairs.

Par la suite, on se penchera sur les différents éléments de réponse que l'on pourrait apporter au problème confronté. Enfin nous mettrons l'emphase sur l'implémentation des diverses solutions que l'on propose.

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

1.2 Étude de l'existant

1.2.1 Les BDD géotechniques dans le monde

Un système de gestion des informations géotechniques s'avère incontournable dans un environnement de géoscience. Beaucoup d'universités et d'entreprises privées ainsi que l'état dans certains pays à travers le monde se sont déjà penchés sur la question.

Les résultats divergent sur quelques détails à propos des technologies utilisées mais l'objectif est généralement le même : constituer une base de données renseignée regroupant tous les points (sondages, essais in situ ou en laboratoire) améliorant la connaissance des caractéristiques géomécaniques des formations d'une zone. Par exemple, dans les Caraïbes, plus précisément sur l'Île de Cayenne, un tel système a permis de mieux appréhender les types de problèmes spécifiques au site, et donc de mieux dimensionner les campagnes de reconnaissance géotechniques, aussi bien sur le plan technique que financier [40].

L'une des faiblesses de certains projets est l'utilisation des outils de Microsoft qui ne semblent pas assez adéquats. Ils sont trop génériques, ce qui empêche un stockage intelligent des données géotechniques [27].

D'autres se basent de préférence sur la conception d'une architecture d'information géotechnique à l'aide de services Web [62]. Cette architecture d'information a été implantée à Los Angeles afin de permettre les échanges d'informations géotechniques accessibles pour tous. Les avantages apportés par une telle application pourraient tant se sentir pour des études concernant les risques sismiques que pour une meilleure approche lors des estimations effectuées par des compagnies d'assurance.

Au Canada, plusieurs projets identiques ont vu le jour, notamment l'élaboration d'une base de données géoscientifiques dans le but d'aider à la finalisation de la cartographie des dépôts en surface et en subsurface [55].

En 2011, un séisme a frappé la région de Canterbury (Nouvelle-Zélande). Une base de données en ligne a été développée pour la reconstruction de Christchurch à la suite du tremblement de terre : La base de données géotechniques de Canterbury (CGD). Elle a été conçue comme un référentiel consultable pour le partage d'informations géotechniques existantes et nouvelles ainsi que

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

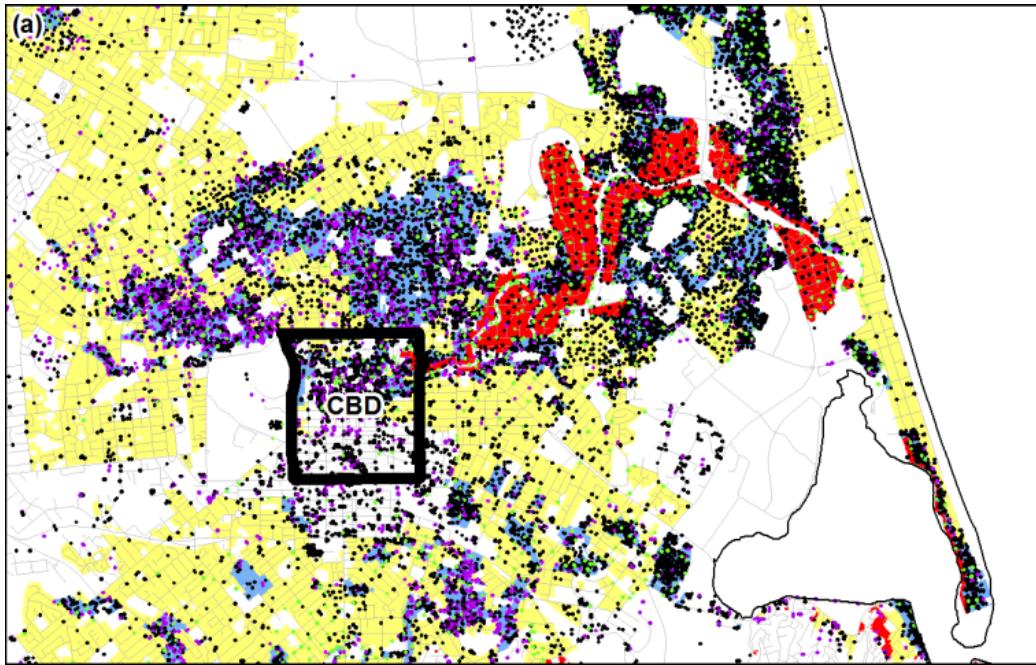


FIGURE 1.5 – Visualisation des résultats de la base de données de Canterbury [57].

des applications géotechniques de soutien pour les autorisations de construction. En mars 2015, la base de données contient plus de *18000 enregistrements d'essais de pénétration de cône, 4000 forages, 1000 piézomètres accompagnés de registres de surveillance des eaux souterraines, 6000 enregistrements de tests de laboratoire plus d'autres données* [57].

Le CGD (Figure : 1.5) a été conçu comme un référentiel consultable pour les informations géotechniques existantes et nouvelles ainsi que des applications géotechniques de soutien pour les autorisations de construction. Tandis que les données sont principalement utilisées pour la conception géotechnique de l'amélioration du sol, la fondation du bâtiment, réparations, fondations de nouveaux bâtiments et conception géotechnique pour les réparations d'infrastructures, il peut également être utilisé à des fins plus stratégiques tel que l'aide à la récupération pour de futures catastrophes naturelles. [57]

L'Afrique ne fait pas exception à la liste des multiples endroits ayant adopté l'idée de concevoir des bases de données géotechniques. Par exemple, celle de la ville de Tunis (Tunisie) est orientée vers la cartographie géotechnique.

Le modèle choisi a permis, après une analyse préliminaire très importante, une description globale et totale de toutes les données géologiques et géotech-

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

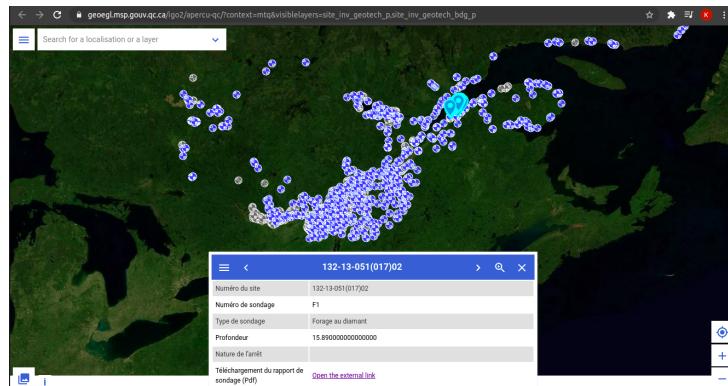


FIGURE 1.6 – Webmap de la BDG du gouvernement du Canada [13]

niques collectées sur le site de Tunis. Il assure, de plus, une indépendance physique et logique, un partage des données (une même donnée accessible par plusieurs programmes), une non-redondance des données, une grande facilité des relations entre fichiers indépendants, une intégrité (validité) totale des données. *S'y ajoutent une souplesse remarquable d'interrogation de TUNIS-DATA-BANK assurée par l'emploi d'un langage d'interrogation spécifique et l'utilisation des opérateurs et des connecteurs logiques, une automatisation totale des tâches de la phase de la manipulation de la base de données et une sécurité totale des fichiers* [49].

Parmi les BDD géotechniques gouvernementales (Figure :1.6), la Base de Données Géotechniques (BDG) du gouvernement canadien, plus précisément le ministère des transports du Québec, et le "Geotechnical Web Mapping App" (Figure :1.8) se font remarquer de par leur simplicité et leur efficacité. Ces deux systèmes présentent les sondages, les forages ainsi que les propriétés des sols et des roches dans plusieurs zones de ces deux pays. Un webmap est utilisé pour faciliter la visualisation de ces données. De plus, le résultat de chaque étude est mis à la disposition du public via un lien PDF.

L'implémentation de tous ces SIG par des organismes internationaux résulte à des données considérées comme étant le système d'archivage officiel dans leur domaine de spécialité. Le rythme de migration de ces données dans le SIG Web connaît une croissance exponentielle. Quelques exemples sont donnés dans le tableau 1.2.

Avec son mouvement vers le cloud et sur le Web, son intégration à l'information en temps réel via l'Internet des objets, le SIG est devenu une plateforme pertinente pour presque toutes les activités humaines - un système

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

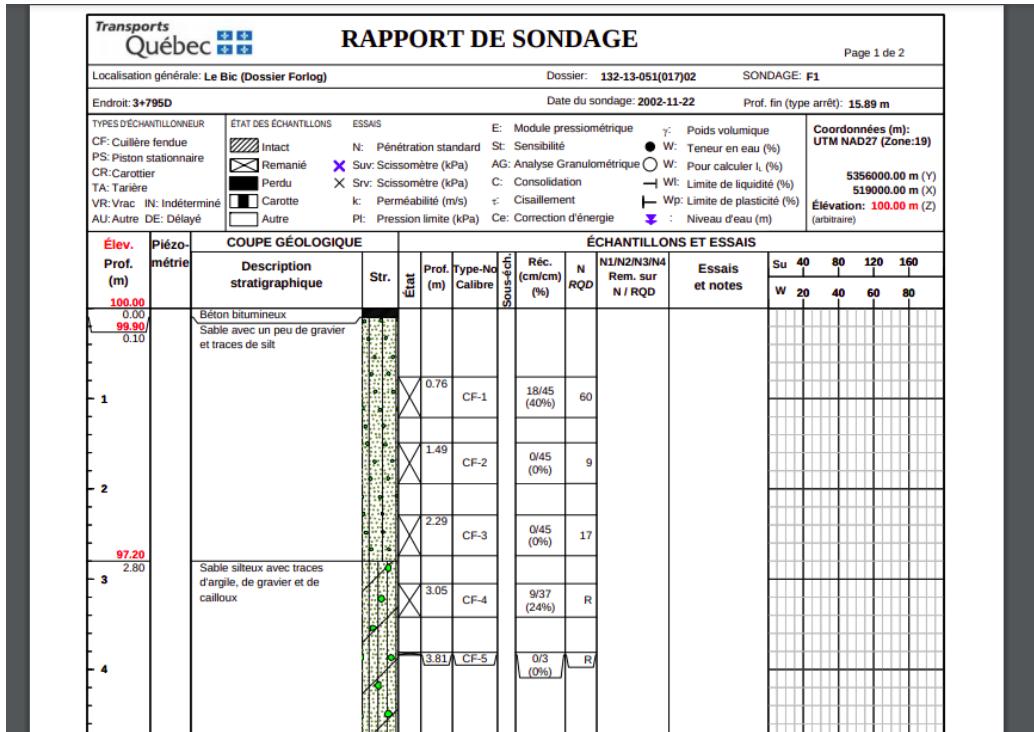


FIGURE 1.7 – PDF d'un rapport de sondage de la BDG du gouvernement du Canada [11]

nerveux de la planète. Alors que notre pays est confronté au problèmes de gestion et de vulgarisation des données géotechniques, les SIG joueront un rôle de plus en plus important et fourniront un moyen de communiquer des solutions en utilisant le langage commun de la cartographie.

1.2.2 Avantages d'un Système de gestion des Informations Géotechniques

Les avantages apportés par le développement d'un système d'information géotechnique sont multiples. L'un des plus importants est la facilité avec laquelle les données peuvent être visualisées, filtrées et manipulées. De plus, le risque de trouver des informations inexactes est considérablement réduite grâce aux protocoles du métier, à la validation des données et aux processus de contrôle approfondis.

Une étude réalisée par Goldin et al., (2008) a montré qu'en moyenne 1,24% des entrées de données dans Excel sont saisies de manière incorrecte ; l'erreur pouvant alors être générée chaque fois que les données sont réintroduites. La

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

BDD	Fonctions
British Geological Survey (BGS) créée par le Royaume-Uni	Fournisseur de données, d'informations et de connaissances géoscientifiques objectives britannique
SERNAGEOMIN (Figure :1.9) créée par le Gouvernement du Chili	Génération d'informations géologiques sur le territoire chilien, ses dangers géologiques et sa mise à disposition des citoyens
La base de données géotechniques de Canterbury (CGD) créée par le Gouvernement de la Nouvelle Zélande	Génération d'informations géologiques sur le territoire chilien, ses dangers géologiques et sa mise à disposition des citoyens
DBG créée par Ministère des transports du Québec	- Présentaion des sondages - Présentaion des forages sous forme schématique - Présentaion des propriétés des sols et des roches - Présentaion de la qualité de l'eau souterraine
GISOS créée par trois organismes : BRGM, INERIS, INPL-LAEGO	- Accès facile aux informations sur les forages - Accès aux mouvements de terrain - Accès aux mesures topographiques - Accès aux essais au laboratoire
Base de données géotechniques, géodésiques et géophysiques dans les argiles du Trièves créée par le conseil général de l'Isère	-Mise à disposition des utilisateurs potentiels, scientifiques ou opérationnels des informations géotechniques, géodésiques et géophysiques.
SIGPEG et géophysiques dans les argiles du Trièves	- Accès aux informations sur les données cartographiques, géophysiques, géotechniques, sur les puits forés

TABLE 1.2 – Présentation de quelques BDD géotechniques dans le monde

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

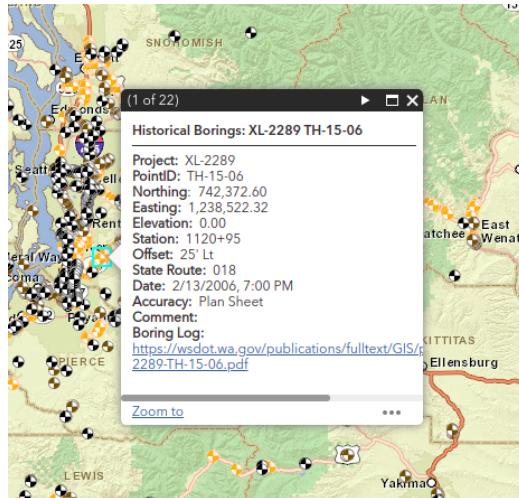


FIGURE 1.8 – Information sur une étude spécifique dans le Geotechnical Web Mapping App [12]

mise en place «à entrée unique» d'une base de données bien conçue réduit les erreurs de transcription humaine, source majeure d'inexactitude pour les entreprises traitant de grandes quantités de données géotechniques. [45]

Ce projet peut aussi être conçu comme un référentiel consultable pour le partage d'informations géotechniques existantes et nouvelles. Il sera un outil de soutien pour les autorisations de construction délivrées par l'État haïtien.

Ces données peuvent également être utilisées à des fins plus stratégiques telle que l'aide au relèvement en cas de futures catastrophes naturelles. Elles peuvent être utiles pour l'élaboration des processus réglementaires. La vaste base de données géotechniques, combinée à d'autres ensembles de données, permettra un examen et une modélisation approfondis du terrain et la performance de l'infrastructure à construire.

Les leçons tirées de ces analyses peuvent être appliquées pour améliorer la résilience et également utilisées pour éclairer les décisions de politique réglementaire dans d'autres domaines en Haïti.

En plus du partage des données, une base de données géotechniques offre les avantages suivants :

- Diminution des coûts d'exploitation des données géotechniques ;
- Les professionnels peuvent accéder plus facilement aux informations géotechniques fournis par d'autres, économisant certains frais d'enquête ;

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

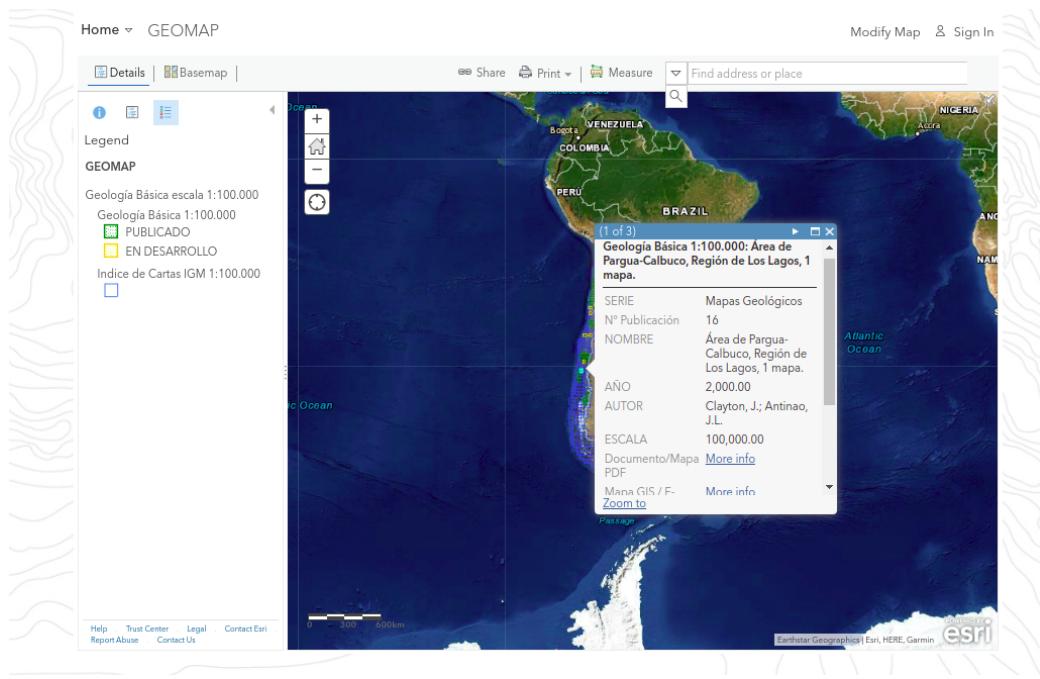


FIGURE 1.9 – Webmap de SERNAGEOMIN [10]

- Des évaluations de haut niveau peuvent être effectuées pour des projets utilisant des informations de la zone environnante pour mieux renseigner le profil géotechnique avant de s'engager à des études plus détaillées ;
- Les données d'une zone peuvent être accessibles pour servir de référence pour le terrain dans des contextes géologiques similaires ;
- Les fournisseurs d'infrastructure peuvent être mieux informés et mieux cibler les zones les plus vulnérables, et, suite à un événement, optimiser les réparations ;
- Les données souterraines peuvent être fournies aux autorités réglementaires et les décideurs pour leur permettre de prendre les décisions d'aménagement du territoire et déterminer la pertinence des stratégies et solutions d'investissement ;
- Les entrepreneurs spécialisés peuvent évaluer les opportunités investir dans des équipements spécialisés et améliorer les sols de construction ;
- Améliorer la modélisation de sinistres catastrophes pour les assurances et la gestion des dangers. Cela faciliterait la réalisation de scénario approprié.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive. Vous trouverez d'autres avantages dans le tableau 1.3.

1.2. ÉTUDE DE L'EXISTANT

	Avantages
1	Réduction du risque de trouver des informations inexactes
2	Pas de duplication des données
3	Création d'un référentiel consultable pour le partage d'informations géotechniques
4	Diminution des coûts de maintenance des données géotechniques
5	Sécurité des données géotechniques (Confidentialité, Intégrité et Disponibilité)
6	Faciliter les prises de décisions d'aménagement du territoire et déterminer la pertinence des stratégies et solutions d'investissement
7	Améliorer la modélisation de sinistres catastrophes pour les assurances
8	Gérer simplement des grands ensembles de données
9	Accéder de manière simple et efficace aux données enregistrées
10	Avoir une grande flexibilité
11	Avoir l'intégrité et la cohérence des données
12	Avoir le contrôle des accès pour les utilisateurs (sécurité et protection des données)
13	L'indépendance entre données et traitements
14	L'ordre dans le stockage de données
15	L'utilisation simultanée des données par différents utilisateurs

TABLE 1.3 – Liste de quelques avantages d'une base de données géotechniques

1.3. LA SOLUTION PROPOSÉE

Cette base de données géotechniques permet aussi à la communauté scientifique d'avoir accès à certaines données qui, normalement, seraient hors de portée pour causes de contraintes budgétaires. La recherche devient alors plus facile dans le domaine de la géotechnique en Haïti.

Etant donné que cet outil n'existe pas encore dans le pays, l'ampleur de ce projet fait donc surface. D'où l'implémentation qui suit.

1.3 La solution proposée

Face aux différents problèmes que l'on constate, la solution que l'on propose est la suivante : Il s'agit de créer une base de données permettant de présenter et référencer l'ensemble des données géotechniques dans un Système d'Information Géographique.

1.3.1 Les apports de cette solution

Ce sera une base de données relationnelles liée à une application web² qui va assurer :

- la sécurité des données
 - + Leur disponibilité
 - + Leur intégrité
 - + Leur confidentialité
 - + Leur non-répudiation
- un filtrage optimal des données
- la visualisation des données via un webmap
- l'accès aux données par les professionnels et universitaires
- la diminution des coûts liés à la gestion des données
- la sécurité des données face aux catastrophes humaines (sabotage, maladresse)
- la sécurité des données face aux catastrophes naturelles (incendie, tremblement de terre, etc)
- l'exploitation des données par des entreprises et l'État pour les prises de décisions
- l'amélioration des modèles liés aux domaines géotechniques
- la facilitation des recherches académiques et scientifiques dans le domaine géotechnique
- ...

2. Le choix des technologies est justifié dans le chapitre 3

1.3. LA SOLUTION PROPOSÉE

1.3.2 Analyse des risques

Les risques liés à la réalisation de ce projet sont multiples.

Risques sur le plan social :

- **Les entreprises** : L'enjeu principal est de convaincre les entreprises à accepter de rendre publiques des données qui non seulement ont toujours été privées mais aussi qui coûtent cher. Qu'auront-ils à gagner en faisant ce geste ? Comment arriver à les motiver à faire un tel sacrifice ?
- **Les visiteurs** : De plus, il faut arriver à inciter les professionnels et les étudiants à visiter la plateforme. Un flux d'activités important montrera l'intérêt accordé à l'outil.

Solution : La motivation des entreprises sera issue des avantages que l'on leur offrira et de l'ambiance scientifique dans laquelle ils se trouveront en utilisant l'outil. Tout un concept sera mis en oeuvre : celui **de science participative**. Il s'agit de créer une communauté dans laquelle chacun est libre d'apporter sa contribution à la réussite du projet. Les entreprises seront en symbiose au gré des ingénieurs, étudiants et autres entreprises(banques, assurances, l'État, ...) en quête de données géotechniques. Ce sera un environnement de partage entre scientifiques. Une campagne de sensibilisation à l'utilisation de l'outil est prévue. Son importance est capitale dans le processus de motivation dans laquelle tout entreprise ou tout utilisateur doit se retrouver.

Pour l'ingénieur, ce sera un outil d'aide à la décision. Il peut optimiser son travail en exploitant les données de la plateforme. Ainsi, cela évitera aux particuliers désirant réaliser une construction d'être soumis aux lourdes contraintes budgétaires qu'implique une étude de sol.

Pour l'étudiant, ce sera un outil de travail lui permettant de s'exercer avec des données réelles et le préparant pour la vie professionnelle qui l'attend.

Pour l'entreprise, ce sera un outil lui permettant d'évaluer les risques d'un investissement. Par exemple une banque peut s'appuyer sur ces données pour savoir si un prêt pour une construction dans une zone est risqué ou pas.

Risques sur le plan technique :

- **Réalisation d'un système trop encombrant** : Un utilisateur peut se perdre facilement dans un système encombrant. Il convient de le mettre dans un environnement où il pourra facilement naviguer. L'expérience utilisateur (UX) est donc un point essentiel sur lequel on doit s'attarder.

1.4. CHEMINEMENT DE LA SOLUTION

- **Ne pas utiliser les technologies appropriées :** L’analyse des besoins et l’étude de la faisabilité conduisent au choix des technologies adéquates pour la réalisation du système. Ces choix seront justifiés et adaptés à l’outil. Il s’agit aussi de ne pas réinventer la roue mais de tirer avantage de l’existant tout en réalisant un système adapté à Haïti.

Solution Le processus UX est global, il ne s’agit pas d’une compétence isolée mais d’une nouvelle démarche qui intègre un nouveau membre de l’équipe : l’utilisateur. [56] Il s’agira de co-construire l’interface avec l’utilisateur. On lui offre d’abord un espace simple et attrayant tout en étant à l’écoute de ses feedbacks. Dans ce sens, une version Beta de l’application sera lancé et sera prête à être améliorée en fonction des demandes des utilisateurs.

1.4 Cheminement de la solution

1.4.1 Implémentation d’une BDD géotechniques

Numérisation des données

Au cours de la première étape, des données seront recueillies à travers diverses instances, principalement l’URGéo ainsi que d’autres partenaires. Enregistrées sous divers formats(papiers, CSV, PDF entre autres), ces données seront par la suite normalisées puis numérisées. En effet, une structure uniforme devra être imposée afin de satisfaire la compréhension de tout particulier et le partage de ces données. Cette étape a rapport à la standardisation des données et aux protocoles adoptés.

Intégration de ces données dans une BDD

Évidemment, une simple numérisation ne changerait point grand chose si les données restent stockées sur des disques comme à l’ancienne. Ainsi, la normalisation ayant apporté un standard et une uniformité au sein des informations enregistrées, ces dernières pourront parfaitement être intégrées dans une base de données créée à cette fin. Une fois implémentée, cette base pourra héberger toutes les informations géotechniques relatives à une analyse effectuée par l’une des instances concernées. Plus explicitement, l’URGéo pourra enregistrer les résultats obtenus lors d’un forage, en alimentant la BDD tout en respectant les critères de standardisation.

1.4. CHEMINEMENT DE LA SOLUTION

Bien qu'efficace, cette BDD géotechniques reste un concept assez abstrait pour un concerné direct qui ne verra aucune différence entre ce nouveau format et les fichiers auxquels il était précédemment habitué.

1.4.2 Utilisation d'un SIG

Connection de la carte d'Haïti et de la BDD

Comme réalisé dans différents pays à travers le monde, la prochaine étape consistera à utiliser un Système d'Information Géographique (SIG) capable de faciliter l'interprétation scientifique de ces données. Les SIG permettent aux utilisateurs de créer leurs propres couches de cartes afin de résoudre des problèmes concrets. Ils ont également évolué ces dernières années pour devenir un moyen de partage de données et de collaboration, inspirant une vision qui devient aujourd'hui une réalité. Une base de données qui couvre pratiquement tous les sujets ; dans le cas présent, ce sera la géotechnique. Une fois le SIG lié à la base, tout intéressé pourra accéder aux informations enregistrées, dans un format plus conventionnel. Cela facilitera la visualisation des données. Dans le cadre de ce projet, il pourra trouver les résultats des tests effectuées au niveau d'une zone précise.

Utilisation de fonds de carte

Une fois les informations accessibles, l'interprétation devient plus évidente ; ce qui peut, pourtant, s'avérer insuffisant. Par ailleurs, des images relatives au contexte recherché par le scientifique le mettra dans un environnement avec le maximum de détails. De ce fait, différents fonds de carte seront mis à la disposition de ce dernier, facilitant sa manipulation des données. L'ingénieur civil voulant faire des études en hydraulique pourra ainsi interpréter les données relatives à son domaine en sélectionnant le fond de carte qui lui convient.

Désormais, tout particulier pourra accéder aux données de la BDD géotechnique en se référant à son domaine d'étude. Néanmoins, jusque-là, l'accès direct aux données de la base demandera l'intervention d'un expert en base de données.

1.4. CHEMINEMENT DE LA SOLUTION

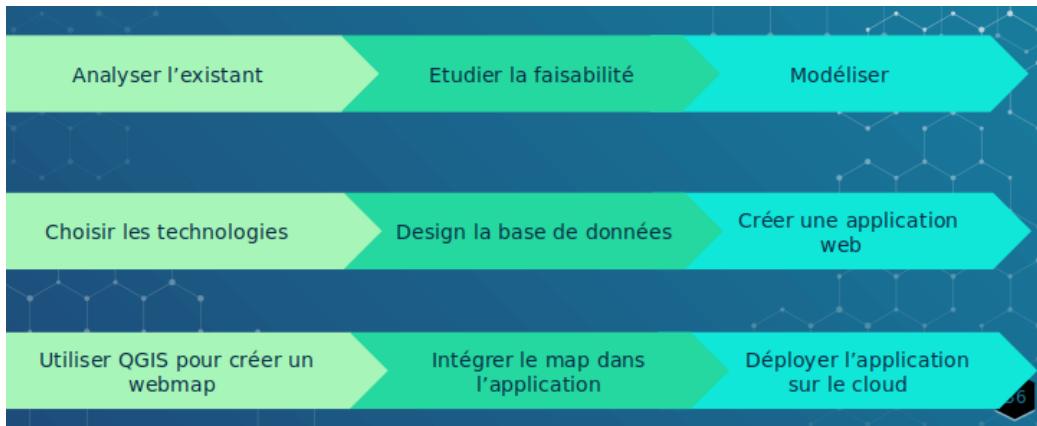


FIGURE 1.10 – Cheminement de la solution

1.4.3 Visualisation des données

Implémentation d'un UI intégrant un webmap

Finalement, la dernière étape consistera à mettre à la disposition de nos utilisateurs finaux un interface adéquat et facilement accessible, leur permettant ainsi d'interagir avec la BDD. Grâce à cela, un administrateur pourra directement ajouter, afficher, modifier ou supprimer des informations sans avoir à contacter un expert en informatique. Quant aux simples visiteurs, ils auront la possibilité de visualiser les données sur une carte. Ces données vont permettre aux utilisateurs(ingénieurs, étudiants, etc) de prendre des décisions, d'analyser des situations précises, ou encore de donner des alertes par rapport à des évènements précis.

En effet, l'autonomie de tous les utilisateurs sans formation préliminaire traduira la performance de l'application. L'expérience utilisateur n'est pas anodin dans le développement d'un tel système.

Publication de l'interface

Quelle serait l'utilité d'une application de cette envergure si sa portabilité n'était pas prise en compte ? - Aucune. Par conséquent, son déploiement dans le *cloud* relèvera d'un processus incontournable afin de la mettre à la disposition de tous les intéressés. Désormais, n'importe qui aura la possibilité d'accéder au portail web sans installation préalable. Néanmoins, pour une question de sécurité, certaines fonctionnalités exigeront à l'utilisateur/administrateur une authentification.

1.5 Perspective de réalisation

Étant plus que pragmatiques, nous ne nous limiterons pas à proposer uniquement une solution théorique. Nous mettrons la main à la pâte afin de donner des résultats palpables et fonctionnels.

Pour ce faire, nous définissons un cheminement, un ensemble d'étapes à respecter pour aboutir à un résultat optimal au moindre coût. Ce cursus comprend cinq grandes étapes :

- **L'initialisation du projet :** Cette étape marque le début de notre long parcours et aura comme principaux objets la prise de connaissance du problème (dans le CDC) et l'identification des vœux de l'URGéo.
- **Planification :** Tout grand projet digne de ce nom doit être planifié. C'est au cours de cette étape que l'état de l'art sera traité pour prendre connaissance de l'existant et s'inspirer des travaux similaires déjà réalisés. Puis vient la phase de l'analyse, de l'évaluation des coûts du projet, du choix de l'architecture, des modèles, ainsi que des technologies et des méthodes que l'on aura à utiliser.
- **Exécution :** L'essence de cette étape se trouve dans la réalisation même du projet, que ce soit en matière de base de données ou de programmation.
- **Monitoring et contrôle :** Ici, il s'agit d'effectuer des tests sur la qualité du produit final et de vérifier si on a atteint le résultat escompté. Notons que cette partie pourra se faire en parallèle avec l'exécution, en faisant de l'intégration continue.
- **Fermeture :** Enfin, on aboutit à la clôture du projet après déploiement et à une potentielle période de maintenance.

Chapitre 2

Analyse des besoins

2.1 Approche de travail

2.1.1 Le génie logiciel

En 1995, une étude du Standish Group dressait un tableau accablant de la conduite des projets informatiques. Reposant sur un échantillon représentatif de 365 entreprises, totalisant 8 380 applications, cette étude établissait que [28] :

- 16,2% seulement des projets étaient conformes aux prévisions initiales,
- 52,7% avaient subi des dépassements en coût et délai d'un facteur 2 à 3 avec diminution du nombre des fonctions offertes,
- 31,1% ont été purement abandonnés durant leur développement.

GéoTechMap se doit de faire partie de ces 16,2 %. Pour ce faire, il ne faut surtout pas négliger l'importance du génie logiciel.

Le génie logiciel est un domaine de recherche qui a pour objectif d'optimiser le coût de développement d'un logiciel. De ce fait, notre travail en tant qu'ingénieurs est de nous occuper de l'architecture du logiciel, en l'occurrence ses composants ainsi que ses mécanismes. La conception passe par plusieurs phases. Ainsi, on établit une approche de travail qui permettra de répondre aux besoins grandissants du système que l'on va concevoir.

À la suite de l'évaluation et de la documentation des besoins spécifiques de l'URGéo, des utilisateurs et des spécifications logiques et matérielles relatifs au système, un plan a été dressé :

- l'analyse des besoins,
- l'élaboration des spécifications,
- la conceptualisation,

2.1. APPROCHE DE TRAVAIL

Facteurs	Détails
Facilité d'emploi	Facilité d'apprentissage, d'utilisation, de préparation des données, d'interprétation des erreurs et de rattrapage en cas d'erreur d'utilisation.
Validité	Aptitude d'un produit logiciel à remplir exactement ses fonctions, définies par le cahier des charges et les spécifications
Fiabilité	Aptitude d'un produit logiciel à fonctionner dans des conditions anormales.
Réutilisabilité	Aptitude d'un logiciel à être réutilisé, en tout ou en partie, dans de nouvelles applications.
Compatibilité	Cacilité avec laquelle un logiciel peut être combiné avec d'autres logiciels.
Efficacité	Utilisation optimale des ressources matérielles.
Portabilité	Facilité avec laquelle un logiciel peut être transféré sous différents environnements matériels et logiciels.
Vérifiabilité	Facilité de préparation des procédures de test.
Intégrité	Aptitude d'un logiciel à protéger son code et ses données contre des accès non autorisés.

TABLE 2.1 – Quelques facteurs sur lesquels repose la qualité de GéoTechMap [28]

- le développement,
- la phase de test,
- le déploiement,
- la vulgarisation,
- la maintenance

Un système de qualité

Il s'agira d'offrir un logiciel de qualité qui s'appuiera sur différents facteurs. GéoTechMap remplit exactement les fonctions escomptées spécifieés dans le cahier des charges. La validité du système ne pourra être mis en doute. De plus, ce sera une application fiable et robuste, pouvant facilement être combinée avec d'autres logiciels (choix de développement API). Dans le Tableau 2.1, figurent les différents facteurs sur lesquels reposent la qualité de GéoTechMap.

2.2. MÉTHODOLOGIE

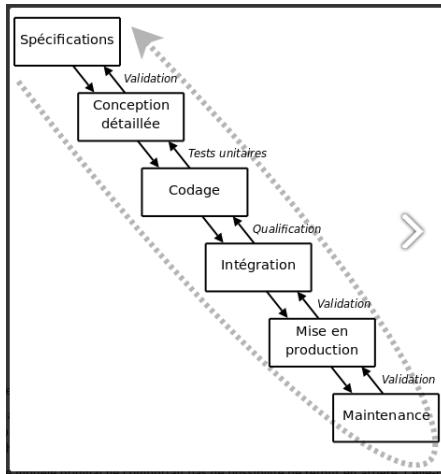


FIGURE 2.1 – Modèle du cycle de vie en cascade [28]

2.1.2 Le cycle de vie du logiciel

Ce cycle désigne les principales étapes de développement du logiciel. Le but de cette sécantation est de permettre la vérification du processus de développement. Il comprend le plus souvent les étapes suivantes :

- L'analyse des besoins et de la faisabilité du projet
- La conception
- Le codage
- Les tests
- La documentation
- La mise en production
- La maintenance

Le cycle de vie peut être modélisé de plusieurs manières (Figures 2.1 et 2.2). Nous utiliserons ici le modèle Agile puisqu'il implique le client, nous forçant à continuellement interagir avec lui. Il s'agit d'un modèle à la fois incrémental, itératif et adaptatif permettant un remaniement régulier du travail réalisé puisque le développement des tests et du logiciel sont effectués de manière synchrone.

2.2 Méthodologie

Pour la réalisation d'un système complexe, le traitement des problèmes doit se faire de manière efficace. Les tâches lourdes sont subdivisées et assignées à chaque membre de l'équipe en fonction de ses aptitudes à les résoudre. Dans le cadre de ce projet, la méthodologie Agile est la plus adaptée.

2.2. MÉTHODOLOGIE

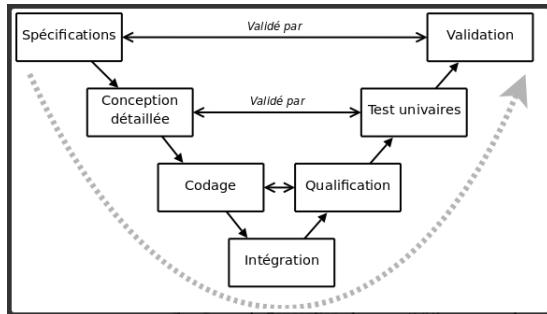


FIGURE 2.2 – Modèle du cycle de vie en V [28]

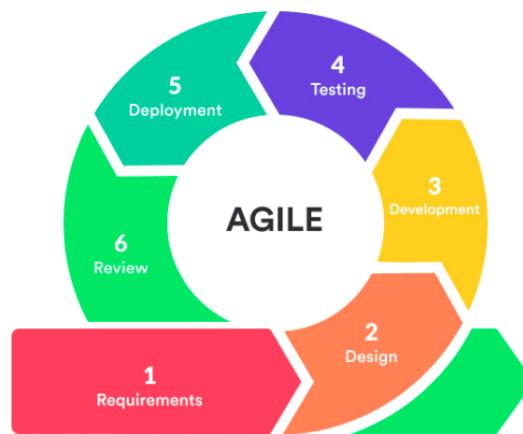


FIGURE 2.3 – Aperçu des méthodologies agiles pour le développement de logiciels [7]

Agile, c'est quoi ?

Agile représente un ensemble de “méthodes et pratiques basées sur les valeurs et les principes du Manifeste Agile”, qui repose entre autre sur la collaboration, l'autonomie et des équipes pluri-disciplinaires [47].

La méthodologie Agile (Figure 2.3) s'oppose généralement à la méthodologie traditionnelle waterfall (en cascade : *dès qu'une étape du projet est terminée, l'équipe passe à l'étape suivante ; il n'y a pas (ou peu) de retour en arrière [39]*). Elle se veut plus souple et adaptée, et place les besoins du client au centre des priorités du projet.

Quel framework choisir ?

2.2. MÉTHODOLOGIE

Différentes approches existent pour structurer des processus agiles au sein d'une organisation (en l'occurrence : Scrum, eXtreme Programming (XP), Adaptive Software Development (ASD), Rapid Application Development (RAD), etc). Vous vous demandez probablement comment procéder pour en choisir une. Malheureusement, il n'existe pas de moyen unique de pratiquer le développement logiciel agile. De nombreux facteurs influencent le cadre avec lequel nous choisissons de travailler (tels que : la structure de l'équipe, les ressources disponibles, les besoins des parties prenantes, ...).

Ne demandez pas "Kanban vs Scrum". Au lieu de cela, demandez "kanban ou Scrum" ou même "kanban et Scrum" [54].

Scrum

Scrum est un framework qui est utilisé pour implémenter la méthode Agile de développement et de gestion de projet [47].

Les équipes Scrum s'engagent à livrer les logiciels fonctionnels à des intervalles définis appelés sprints. Leur objectif est de créer des boucles d'apprentissage pour recueillir et intégrer rapidement les commentaires des clients. Les équipes Scrum adoptent des rôles spécifiques, créent des artefacts spéciaux et organisent des cérémonies régulières pour faire avancer les choses.

Kanban

Kanban est une méthodologie de gestion de projet agile pour le développement de logiciels où l'accent consiste à indiquer avec précision le travail à effectuer et le moment où il doit être fait[58].

Kanban consiste à visualiser votre travail, à limiter le travail en cours et à maximiser l'efficacité (ou le flux). Les équipes Kanban se concentrent sur la réduction du temps nécessaire pour prendre un projet (ou une user story) du début à la fin. Ils le font en utilisant un tableau Kanban et en améliorant continuellement leur flux de travail.

Un mélange de Kanban et de Scrum

La méthodologie agile de gestion de projet et le framework Scrum sont basés sur une méthode itérative de livrables du produit. Au lieu d'attendre que le projet soit 100% finalisé pour le livrer au client, vous délivrez des tronçons “utilisables” du projet au cours du temps. Vous évitez ainsi de gaspiller des efforts en cas de nécessité de changement ou de problème de communication. Au-delà de l'importance des itérations et des améliorations

2.2. MÉTHODOLOGIE

pour le produit, Scrum s'attache également à améliorer le processus à chaque nouveau cycle.

Un projet Scrum peut être agencé de différentes manières mais sont toujours présents :

- Product Owner : Il représente les intérêts du client et à ce titre, il a l'autorité pour définir les fonctionnalités du produit final. Dans notre cas, il s'agit de l'URGéo.
- Sprint : Scrum utilise des sprints comme intervalles de temps pendant lesquels l'équipe va compléter un certain nombre de tâches. Chaque sprint se termine avec une Rétrospective, qui réunit toute l'équipe afin de partager les retours d'expérience et discuter des améliorations possibles du prochain sprint.

Pourquoi Agile, Kanban et Scrum ?

Nous sommes fixés sur le choix de la méthodologie Agile. Mais concernant la méthode en question, on se fait le plaisir de jongler par moments entre Kanban et Scrum. Le tableau 2.2 fait une comparaison entre ces deux outils et met l'emphase sur leur convergence.

- Scrum est la méthode agile la plus éprouvée et la plus documentée.
- Contrairement à la méthode traditionnelle waterfall, l'approche Agile offre une plus grande flexibilité et une meilleure visibilité dans la gestion du projet.
- Les méthodologies Kanban sont continues et plus fluides, tandis que Scrum est basé sur des sprints de travail courts et structurés (qui nous est nécessaire par moment).
- L'avantage majeur de l'approche Agile est sa flexibilité. Les changements du client et les imprévus sont pris en compte et l'équipe projet peut réagir rapidement.
- Le client dispose d'une meilleure visibilité sur l'avancement du projet et peut ainsi l'ajuster en fonction de ses besoins. Le contrôle qualité est permanent. Quant à l'équipe projet, elle peut réagir rapidement aux demandes du client.¹

1. <https://www.planzone.fr/blog/quest-ce-que-la-methodologie-agile>

2.3. PRÉPARATION DES DOCUMENTS

	Scrum	Kanban
Cadence	Sprints réguliers de longueur fixe (ex : 2 semaines)	Flux continu
Méthodologie de publication	À la fin de chaque sprint	Livraison continue
Rôles	Product owner, scrum master, development team	Aucun rôle requis
Indicateurs clés	Rapidité	Délai d'exécution, temps de cycle, WIP(Work In Progress)
Philosophie de changement	Les équipes ne doivent pas apporter de modifications pendant le sprint.	Le changement peut survenir à tout moment

TABLE 2.2 – Comparaison de Scrum et Kanban

Lieu	Delmas
Date	Janvier 2020
Maître d'ouvrage	Faculté Des Sciences
Maître d'œuvre	URGéo
Réf Numéro Étude	1234

TABLE 2.3 – Exemple de cartouche sur un document d'étude géotechnique

2.3 Préparation des documents

Étant donné que la majorité des rapports et résultats des tests sont disponibles sous forme papier, la première étape consiste à scanner les documents. Pour ce faire nous adoptons une protocole : on assure la traçabilité de chaque document les munissant d'une cartouche reprenant une série d'informations. Voici la liste des informations qui forme une cartouche :

- **Lieu** : Il s'agit de l'endroit où l'étude a été effectuée.
- **Date** : Il s'agit de la date à laquelle l'étude a été effectuée.
- **Maître d'ouvrage** : Il s'agit du client pour lequel l'étude est effectuée.
- **Maître d'œuvre** : Il s'agit de la personne ou l'entreprise chargée de l'étude.
- **Réf Numéro Étude** : Il s'agit d'un identifiant unique permettant de tracer une étude.

2.4. CONCEPTUALISATION

2.4 Conceptualisation

Nous débutons la conception de notre système en analysant la situation pour prendre note des différentes contraintes, des risques et tout autre élément pertinent dans le but de satisfaire l'intégralité des besoins de l'URGéo. Nous sommes déjà imbus du contexte de développement du système, par conséquent, nous allons, dans cette partie, nous concentrer sur les besoins et les contraintes de l'application.

2.5 Besoins et contraintes

Il s'agit de la conception d'une base de données géotechniques et d'une application web permettant de visualiser cesdites données. Définissons d'abord tous les besoins des différents utilisateurs du système.

Identification des acteurs du système

Pour connaître les différents besoins des utilisateurs, nous devons avant tout relever la liste des différents utilisateurs eux-mêmes. Nombreux sont ceux qui auront à utiliser le système. Nous appellerons ces différents utilisateurs les **acteurs** du système.

L'application est disponible pour tout le monde notamment les professionnels en géosciences, les ingénieurs, les étudiants, les banques, les compagnies d'assurance, etc. Ces acteurs sont divisés en trois (3) catégories :

- **les visiteurs** : Un visiteur est un utilisateur externe qui se rend sur l'application pour rechercher et visualiser les données mises disponibles par l'URGéo et les instances associées.
- **les administrateurs** : Un administrateur est un utilisateur interne capable d'interagir directement avec les données. Il a pour principal rôle la gestion des data liés aux différents résultats géotechniques. Tout au long du document, on entendra par data :
 - Les résultats des essais
 - Les fonds de carte
- Il est obligatoire pour lui de s'authentifier pour pouvoir effectuer certaines actions sur le système. Seront administrateurs, toute personne désignée par l'URGéo ou les partenaires de l'URGéo. Le plus souvent, il s'agira des stagiaires responsables de l'entrée des données.
- **les superadmins** : Un super-administrateur est un super utilisateur. Détenant un rôle particulièrement sensible, il est obligatoire pour lui de s'authentifier pour y accéder. Ses droits sont particulièrement orientés

2.5. BESOINS ET CONTRAINTES

vers la gestion des ressources du système. Il peut ainsi manipuler les informations relatives aux différents utilisateurs et garder un trace des trafics effectués au sein de l'application. Seront superadmins, toute personne désignée par l'URGéo.

Besoins des différents utilisateurs

Étant donné que l'on a deux types d'utilisateurs internes avec des privilèges différents, le système doit impérativement comporter un mode de gestion des utilisateurs et des droits d'accès.

Le visiteur Le visiteur a à sa disposition une carte d'Haïti marquée aux différents endroits où des tests géotechniques ont été réalisés. À n'importe quel moment, il peut décider d'effectuer une recherche par mot clé et s'attend à ce que le résultat de sa recherche s'affiche sur la carte. Il a aussi l'option de l'afficher sous la forme d'une liste qu'il peut filtrer selon son choix. Cette dernière peut être téléchargée sous format CSV. En support aux informations spécifiques à un test se trouvant à un endroit bien précis sur la carte, le visiteur a aussi l'accès au résultat du test se trouvant dans un fichier PDF qu'il peut télécharger.

Aussi, plusieurs fonds de carte seront disponibles permettant au visiteur d'adapter le résultat de ses recherches au contexte idéal (topographie, hydraulique,...)

Le visiteur peut aussi décider de lire, de commenter ou de laisser un message (de manière anonyme ou pas) sur le forum dédié à l'application.

L'administrateur Un administrateur ne peut exister sans appartenir à une institution su système. Avant tout, il peut réaliser toutes les actions d'un visiteur. De plus, après s'être authentifié au moyen de son adresse électronique et de son mot de passe, il peut interagir directement avec la base de données. En cas d'oubli de son mot de passe, le système lui envoie un lien de réinitialisation de mot de passe à son email. Pour jouer son rôle d'administrateur, il est redirigé vers *l'interface de l'administrateur*. Dans ce module, l'administrateur peut :

- **Ajouter un test :** Il s'agit de rentrer les informations relatives à un test pour l'ajouter dans la base de données. Ces informations sont de types différents (nom :texte, identifiant :entier, date du test :date, types de test :entier, date d'enregistrement :date, etc²)

2. Les différents champs et leur type seront détaillés dans l'étude des diagrammes à la fin du chapitre

2.5. BESOINS ET CONTRAINTES

- **Modifier un test :** Si pour une raison ou pour une autre un test doit être modifié, l'administrateur est en mesure de le faire après s'être authentifié. Un message lui sera affiché à l'écran dépendamment de la réussite ou de l'échec de son action.
- **Supprimer un test :** La suppression d'un test est aussi possible. Un message de confirmation précède la validation de l'exécution de cette action car elle est irréversible.

À noter qu'il ne peut s'aventurer à modifier ou supprimer un test qui n'avait pas été directement ajouté par un administrateur appartenant à la même institution. De plus, si l'URGéo juge que le commentaire d'un visiteur doit être supprimé, l'administrateur est apte à réaliser cela.

Chaque action effectuée par un administrateur sera enregistrée automatiquement pour permettre la traçabilité et la non-répudiation³. Ainsi, un module permettant de visualiser uniquement les logs⁴ du système. Par conséquent, on peut savoir la date et l'heure précise où un administrateur ouvre une session, affiche, ajoute, modifie ou supprime une donnée. Nul utilisateur ne pourra altérer ces données.

Le superadmin Il s'agit là de l'utilisateur de plus haute hiérarchie de notre application. Certes, il est libre d'utiliser l'application comme un simple visiteur. De plus, après s'être authentifié au moyen de son adresse électronique et de son mot de passe, il peut avoir accès tant aux données relatives aux différents utilisateurs de son institution qu'au trafic des différentes données en circulation. Il pourra ainsi visionner les statistiques relatives au bien fondé de la plateforme. Dans ce module, le superadmin peut :

- **Ajouter un utilisateur :** Il s'agit de rentrer les informations relatives à un utilisateur pour l'ajouter dans la base de données. Ces informations sont de types différents (nom :texte, prénom identifiant :entier, type d'utilisateur, etc⁵)
- **Modifier un utilisateur :** Si pour une raison ou pour une autre les informations d'un utilisateur doivent être modifiées, le superadmin est en mesure de le faire après s'être authentifié. Un message lui sera affiché à l'écran dépendamment de la réussite ou de l'échec de son action.
- **Activer ou désactiver un utilisateur :** Il s'agit d'autoriser ou non un administrateur à utiliser l'application.

3. On abordera cette partie dans la section sécurité du chapitre 3.

4. Historique des actions effectuées sur un système informatique.

5. Les différents champs et leur type seront détaillés dans l'étude des diagrammes à la fin du chapitre

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

Utilisateurs	Besoins	Contraintes
Visiteur	<ul style="list-style-type: none"> · Cartographie d'Haïti · Fonds de carte · Recherches · Filtrage des données · Téléchargement des résultats des tests · Navigation simple et attrayante 	Accès au site à partir du lien
Administrateur	<ul style="list-style-type: none"> · Ajout de test · Modification de test · Suppression de test · Suppression de commentaire 	<ul style="list-style-type: none"> · Authentification · Appartenance à une institution du système
Superadmin	<ul style="list-style-type: none"> · Affichage des logs · Ajout d'administrateur · Modification d'administrateur · Activation d'administrateur · Désactivation d'administrateur · Accès à l'analyse des flux de l'application 	<ul style="list-style-type: none"> · Authentification · Appartenance à une institution du système

TABLE 2.4 – Tableau des utilisateurs et de leurs besoins

- Visionner la statistique des trafics effectués sur les données de son institution : Un graphe statistique sera mis à sa disposition sans qu'il ne puisse le modifier personnellement.

2.6 Modélisation avec UML

Pourquoi modéliser ?

La modélisation est le fait de représenter de manière abstraite et simplifiée une entité du monde réel. Cette entité peut être un phénomène, un processus ou, comme dans notre cas, un système. L'objectif de la modélisation est de décrire, d'analyser, d'expliquer ou de prévoir l'évolution de l'entité en question.

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

Le modèle est enfin indispensable pour assurer un bon niveau de qualité et une maintenance efficace. Le choix du modèle a donc une influence capitale sur les solutions obtenues.

UML

Une image vaut mieux que mille mots. Considérez ce proverbe comme le résumé de l'origine de la schématisation en langage de modélisation unifié. Le langage UML (Unified Modeling Language) résume et visualise les systèmes de programmation orientés objet. UML est un langage de modélisation orienté objet, c'est-à-dire que toutes les entités modélisées sont des objets ou se rapportent à des objets [36].

Son objectif est de créer un langage visuel commun dans le monde complexe du développement de logiciels. Il serait aussi compréhensible par les professionnels et ceux qui veulent interpréter un système.

Le Unified Modeling Language spécifie 14 types de diagrammes qui représentent la structure, le comportement et les interactions d'un système.

2.6.1 Diagrammes des cas d'utilisation

Commençons avec les diagrammes des cas d'utilisation. Ils représentent la structure des grandes fonctionnalités nécessaires aux utilisateurs du système. C'est le premier diagramme du modèle UML, celui où s'assure la relation entre l'utilisateur et les objets que le système met en œuvre[28].

Cas général

Trois niveaux d'acteurs sont à considérer au sein du système : un visiteur, un administrateur et un super administrateur. La hiérarchisation permet que chaque niveau ait accès à des droits spécifiques.

Pour commencer, le **visiteur** a des droits d'accès très restreints :

- Parcourir le webmap : Le visiteur peut voir l'ensemble des informations géotechniques disponibles sur la carte.
- Changer de fond de carte : Afin de mieux illustrer le contexte marquant l'intérêt du visiteur, une variété de fonds de carte est accessible sur le site. Ainsi, l'utilisateur peut puiser dans le champs de choix qui lui sont proposés.
- Visionner les données enregistrées : En cliquant sur une légende précise, le visiteur peut voir les données qui ont été préalablement enregistrées dans la base de données.

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

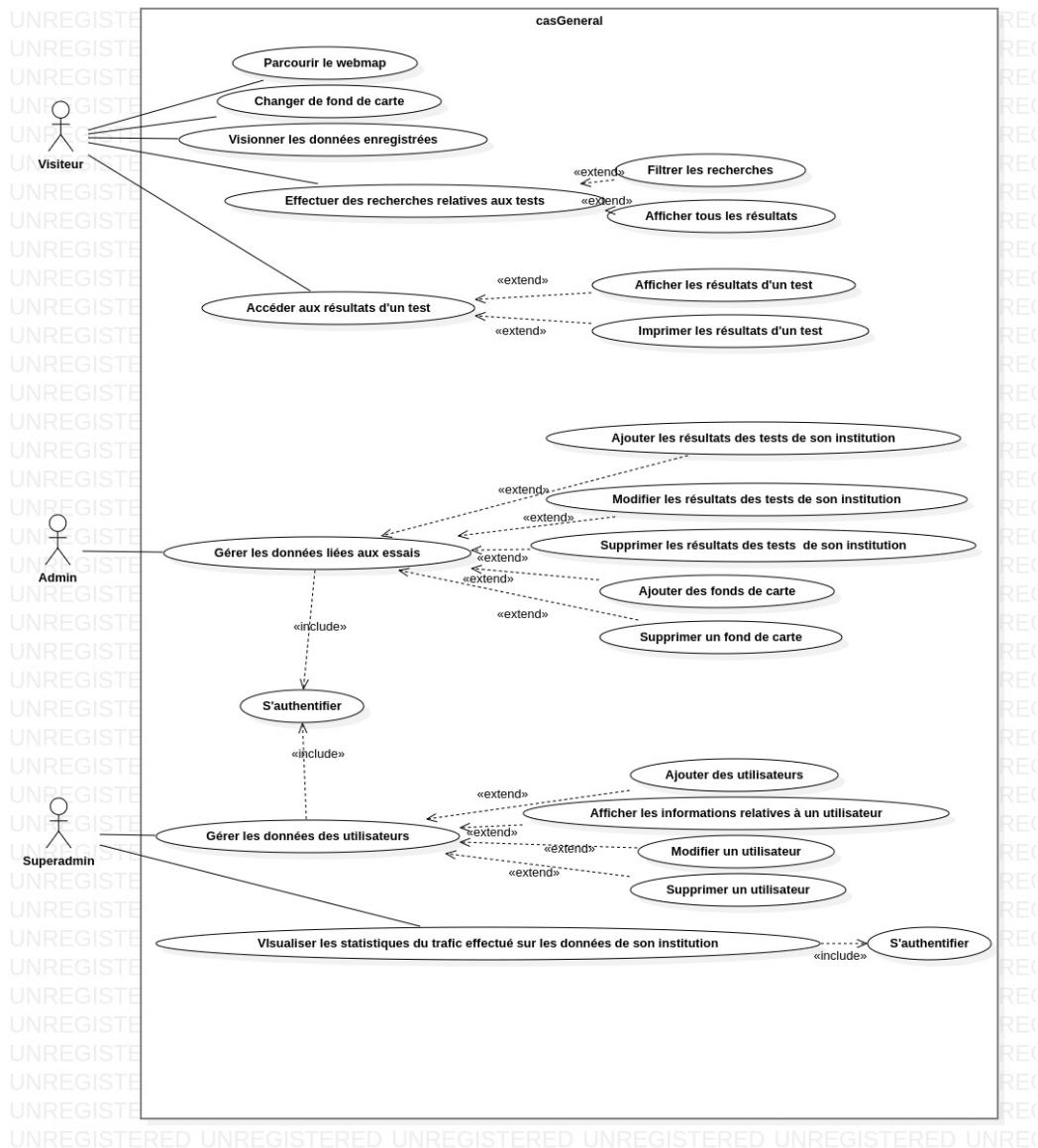


FIGURE 2.4 – Diagramme des cas d'utilisation général

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

- Effectuer des recherches : Deux options s'offrent aux utilisateurs. Ces derniers peuvent afficher tous les résultats au cours de la recherche, ou encore ils peuvent se fixer des filtres capables de mieux limiter les plages des résultats.
- Accéder aux résultats d'un test : Une fois les résultats obtenus, le visiteur peut soit simplement les afficher, soit les imprimer.

De son côté, l'**administrateur** s'occupe de la gestion des informations au sein de la base de données. Il peut donc :

- Ajouter des informations géotechniques : L'admin peut ajouter des informations dans la bdd, qui sont reflétées sur la carte.
- Modifier les informations qu'il avait préalablement enregistrées : Il ne peut modifier que les informations qu'il avait lui-même ajoutées.
- Supprimer les informations qu'il avait préalablement enregistrées : Tout comme il en est pour la modification, il ne peut supprimer que les informations qu'il avait lui-même ajoutées.
- Ajouter un fond de carte
- Supprimer un fond de carte

Évidemment, aucune de ces actions ne saura avoir lieu tant que l'administrateur ne s'est pas authentifié.

En dernier lieu, le super administrateur joue surtout un rôle de gestionnaire en ressources humaines. Une fois authentifié, il est en mesure de :

- Ajouter des utilisateurs
- Modifier les utilisateurs
- Afficher les informations relatives aux différents utilisateurs, pouvant ainsi retracer toutes les actions posées par un utilisateur du système.
- Supprimer ou désactiver un utilisateur : La différence se fait remarquer par le fait que le super admin peut supprimer complètement un utilisateur ainsi que toutes les informations y relatives ou simplement désactiver le compte d'un utilisateur sans, pour autant, éliminer ses données.

Parcourir le Webmap

Tout individu, concernés ou pas, par les informations fournies par le webmap peut parcourir l'application. Pour ce faire, aucune authentification n'est nécessaire au préalable. Lorsqu'un visiteur accède au site, il peut donc :

- **Visualiser les informations générales** : Les informations sont disponibles sur une carte pouvant être interprétés par un particulier. Elles sont étiquetées sur les points géographiques respectives. De ce fait,

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

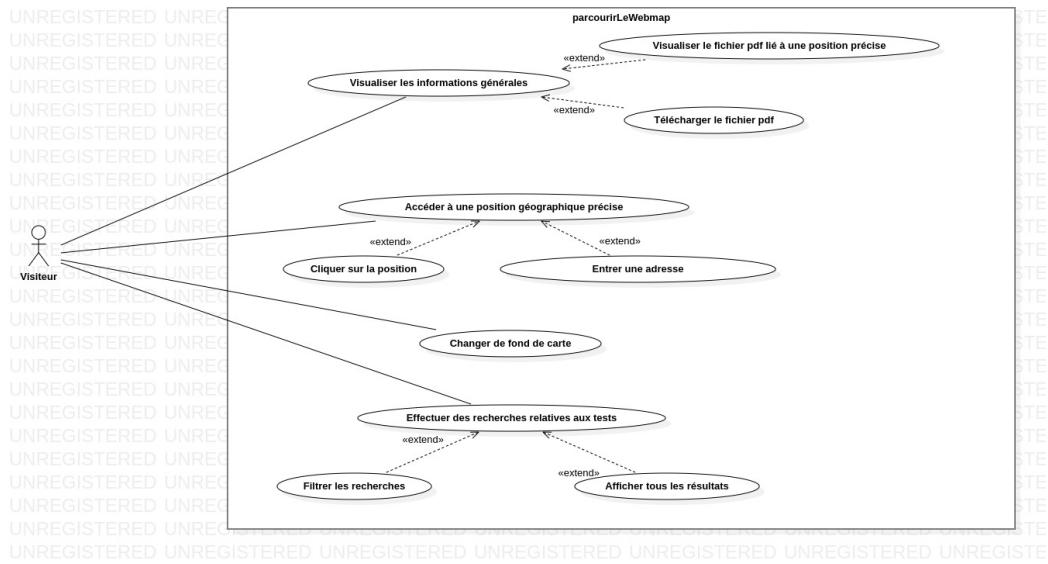


FIGURE 2.5 – Diagramme des cas d'utilisation : parcourir le webmap

il peut sélectionner une étiquette particulière afin d'avoir accès à ces données, lui permettant de

- Visualiser le fichier pdf
- Télécharger ce fichier

À première vue, le visiteur ne voit que la carte remplie de "pin[MPOKO JWENN TERME FRANCAIS A]" colorés relatifs à une légende explicite pour la compréhension du visiteur. En plus des légendes, une liste de wigdets facilitant la navigation de l'utilisateur.

- **Accéder à une position géographique précise** Toutes les informations étant disponibles, le visiteur peut choisir de visualiser les données relatives à une position bien définie. Pour y accéder, il peut :
 - Cliquer directement sur la position géographique
 - Entrer une adresse dans le champs y relatif
- **Changer de fond de carte** Chaque individu visite ce webmap dans un contexte personnel. Par ailleurs, il peut changer le fond de la carte en fonction de ses besoins. Ces images peuvent varier d'un point de vue hydraulique à un point de vue magmatique en passant par tous les fonds mis à la disposition de l'utilisateur par les institutions.
- **Effectuer des recherches relatives aux essais** Grand nombre d'essais sont enregistrés sur la carte. Pour faciliter la navigation, une possibilité de recherche est offerte. Dans ce cas, il peut donc :
 - Afficher tous les résultats
 - Filtrer les recherches

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

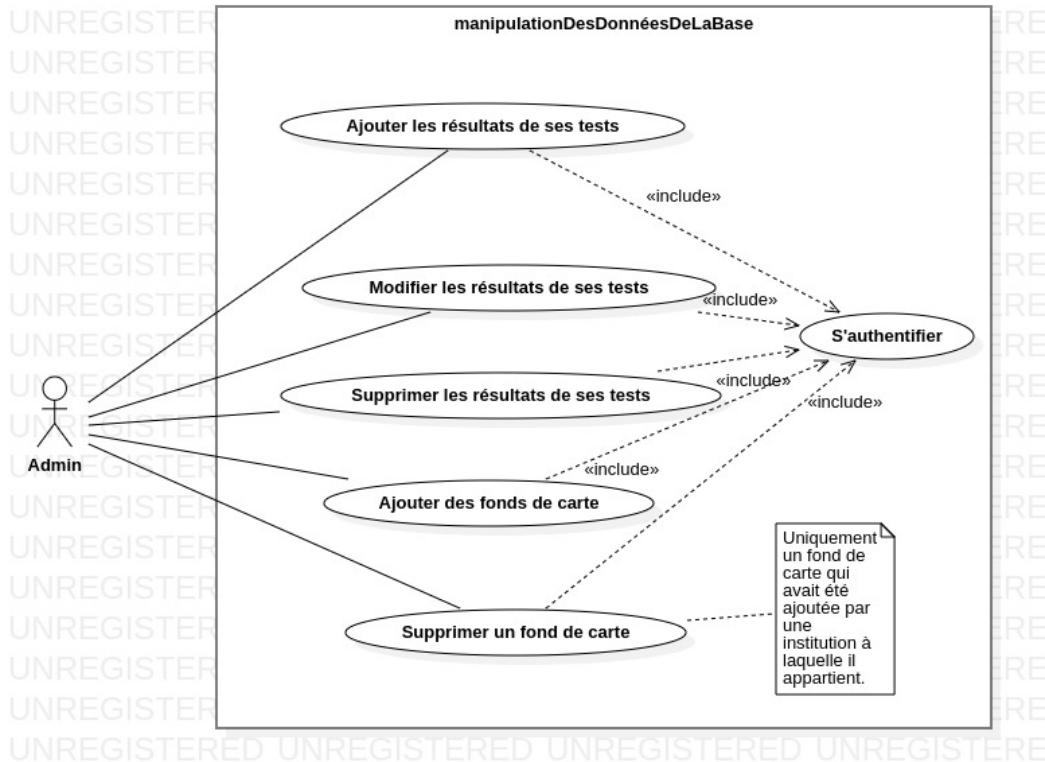


FIGURE 2.6 – Diagramme des cas d'utilisation : Gestion des données liées aux essais géotechniques

Manipulation des données de la base

Avant même que les données puissent être disponibles et interprétables par un utilisateur, il faut qu'elles soient intégrées et manipulées continuellement. Le seul utilisateur ayant habilité à faire de telles actions est l'administrateur. Néanmoins, il ne peut manipuler que les informations qu'il a lui-même insérées dans la base de données. Ces dernières étant sensibles, L'admin doit s'authentifier avant d'avoir des droits d'accès à toute sorte de manipulation.

2.6.2 Diagramme de classes

Il s'agit du diagramme le plus important dans le cadre d'une modélisation orientée objet. Grâce à lui, nous pouvons représenter la structure interne du travail à réaliser, nous permettant de trouver un meilleur terrain d'entente avec nos collaborateurs.

Huit grandes classes sont donc implémentées afin d'enregistrer les informations à enregistrer au sein de l'application :

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

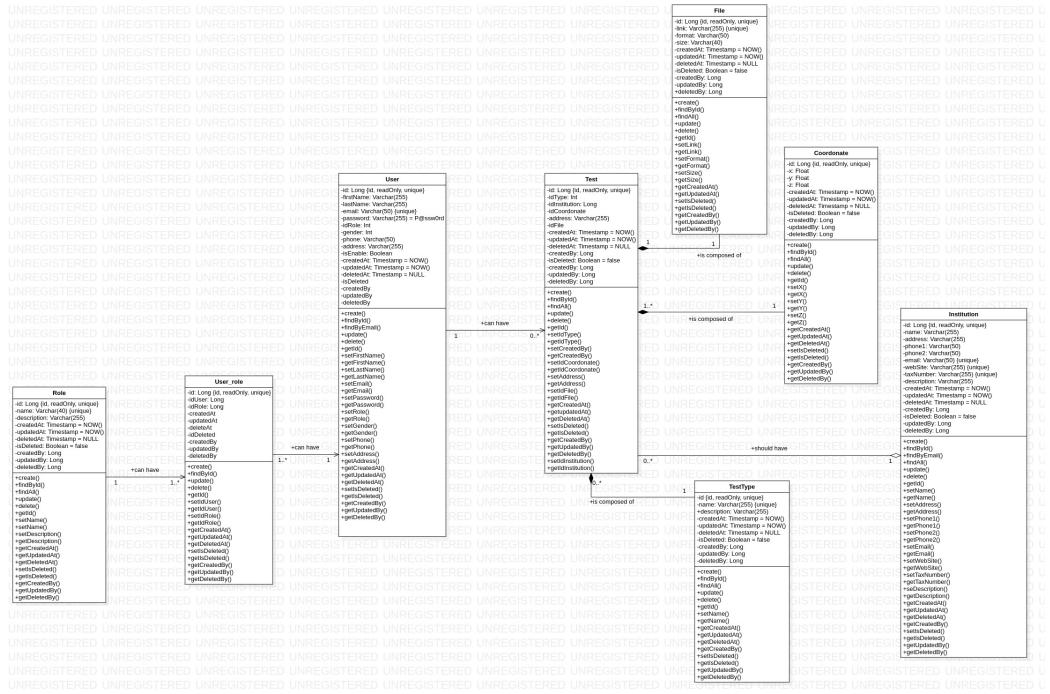


FIGURE 2.7 – Diagramme de classe

- **User** : On y trouve les informations relatives aux différents utilisateurs internes du système : administrateur et superadmin.
- **Institution** : Ici sont listées les institutions liées au projet.
- **Test** : Chaque essai ayant des informations importantes, cette classe pourra les enregistrer.
- **Coordinate** pour enregistrer les coordonnées des zones sur lesquelles ont été effectués les essais
- **TestType** pour les différents types de tests existants
- **File** afin de sauvegarder les fichiers
- **User_role** pour limiter les droits d'accès d'un utilisateur
- **Role** pour associer un rôle à chaque type d'utilisateur

2.6.3 Diagramme d'objets

Ce diagramme 2.8 montre les relations entre des objets à travers des exemples tirés du monde réel et permet de voir l'apparence d'un système à n'importe quel instant donné. Les données sont disponibles à l'intérieur des objets, elles peuvent donc être utilisées pour clarifier les relations entre des objets.

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

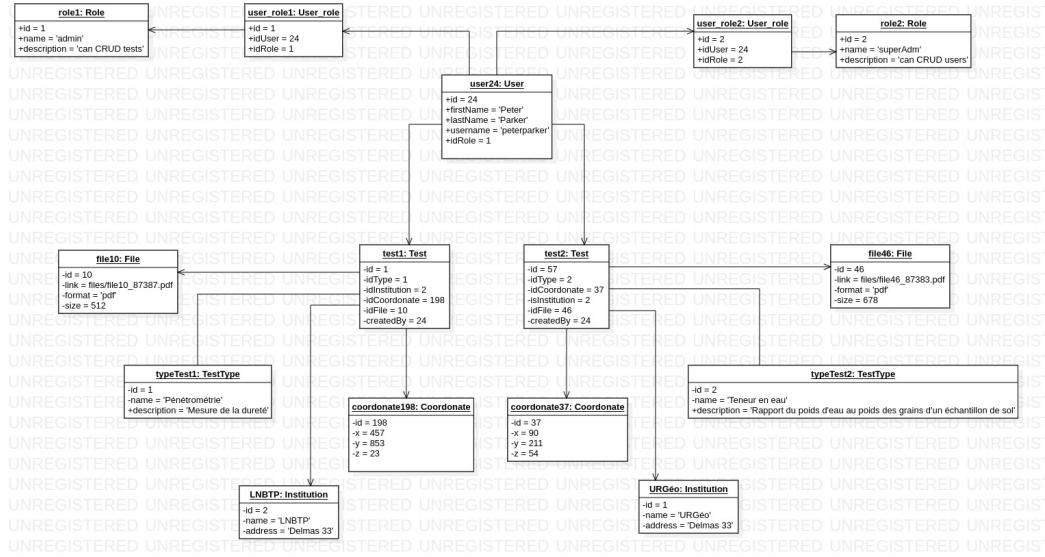


FIGURE 2.8 – Diagramme d’objet

Un diagramme d’objets représente des objets (i.e. instances de classes) et leurs liens (i.e. instances de relations) pour donner une vue figée de l’état d’un système à un instant donné. Un diagramme d’objets peut être utilisé pour :

- Illustrer le modèle de classes en montrant un exemple qui explique le modèle ;
- Préciser certains aspects du système en mettant en évidence des détails imperceptibles dans le diagramme de classes ;
- Exprimer une exception en modélisant des cas particuliers ou des connaissances non généralisables qui ne sont pas modélisés dans un diagramme de classe ;
- Prendre une image (snapshot) d’un système à un moment donné.

Le diagramme de classes modélise les règles et le diagramme d’objets modélise des faits [28].

2.6.4 Diagramme d’activités

Le diagramme d’activités a pour rôle principal de représenter graphiquement le comportement du système. Il facilite ainsi la compréhension de chacun en prenant en compte l’interaction des acteurs tant internes qu’externes.

Dans le cadre d’un projet d’automatisme, nous nous serions probablement tournés vers un diagramme d’états-transitions qui saurait prendre en compte chaque état du système afin d’en prévenir la prochaine action. Mais là,

2.6. MODÉLISATION AVEC UML

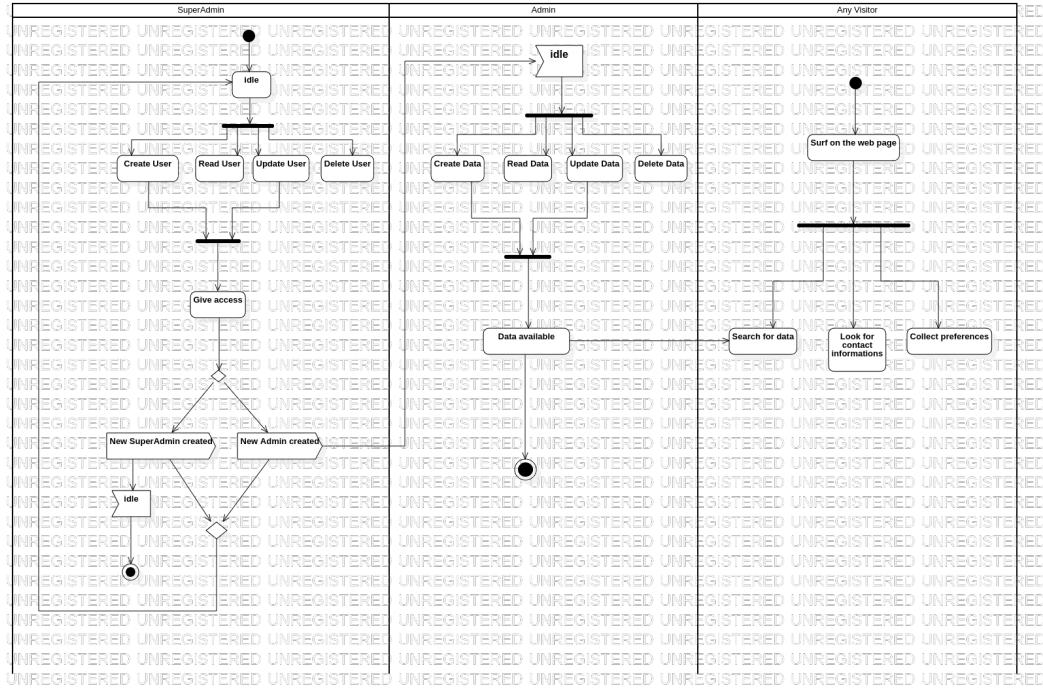


FIGURE 2.9 – Diagramme d’activités

l’interaction obligatoire d’un acteur nous oblige à considérer le comportement d’un système basé sur la programmation orientée objet. Il montre les actions à un très haut niveau d’abstraction avec les interactions entre elles [36]. Notre diagramme se présente alors comme suit :

En d’autres termes, nos deux acteurs internes sont pris en compte ainsi que l’acteur externe à notre système. Avant même que les résultats d’un test soit disponibles, ils devront être ajoutés par un administrateur. Ainsi, les visiteurs pourront avoir accès aux données.

2.6.5 Diagramme de séquence

Les diagrammes de séquence sont une solution de modélisation dynamique populaire dans UML car ils se concentrent spécifiquement sur les lignes de vie, ou les processus et les objets qui vivent simultanément, et les messages échangés entre eux pour exécuter une fonction avant la fin de la ligne de vie.

Un diagramme de séquence est un type de diagramme d’interaction car il décrit comment et dans quel ordre un groupe d’objets fonctionne ensemble. Ces diagrammes sont utilisés par les développeurs de logiciels et les professionnels pour comprendre les exigences d’un nouveau système ou pour documenter

2.7. STRUCTURE MODULAIRE

un processus existant. Les diagrammes de séquence sont parfois appelés diagrammes d'événements ou scénarios d'événements.

Le but principal d'un diagramme de séquence est de définir des séquences d'événements qui aboutissent à un résultat souhaité. L'accent est moins mis sur les messages eux-mêmes que sur l'ordre dans lequel les messages se produisent ; néanmoins, la plupart des diagrammes de séquence communiqueront quels messages sont envoyés entre les objets d'un système ainsi que l'ordre dans lequel ils se produisent [1].

Les principales informations contenues dans un sont les messages échangés entre les lignes de vie, présentés dans un ordre chronologique. Ainsi, contrairement au diagramme de communication, le temps y est représenté explicitement par une dimension (la dimension verticale) et s'écoule de haut en bas[28].

2.7 Structure modulaire

Le dictionnaire Larousse définit une structure modulaire comme suit : *Se dit d'un système, matériel ou logiciel, conçu en séparant les fonctions élémentaires pour qu'elles puissent être étudiées et réalisées séparément*[46]. Cette décision est prise pour faciliter la conception et l'évolution du système GéotechMap. En réalisant des modules indépendants, il devient plus facile de les tester, les modifier ainsi que les intégrer dans d'autres applications. Par conséquent, la communication entre les modules est plus fluide et n'importe quel ingénieur peut travailler sur le système.

Les principaux modules sont :

- La base de données
- Les API
- La gestion des utilisateurs
- L'administration
- Le côté client

La base de données

Une base de données est un ensemble d'informations organisées de manière à être facilement accessibles, gérées et mises à jour. Il existe différents types de bases de données :

- Base de données centralisée
- Base de données distribuée

2.7. STRUCTURE MODULAIRE

- Base de données personnelle
- Base de données relationnelle
- ...⁶

Notre choix est axé sur la base de données relationnelle (plus de détails dans le chapitre suivant). Ces bases de données sont catégorisées par un ensemble de tables où les données sont intégrées dans une catégorie prédéfinie. La table se compose de lignes (tuples) et de colonnes où la colonne a une entrée pour les données d'une catégorie spécifique et les lignes contiennent une instance pour ces données définies en fonction de la catégorie. Le langage SQL (Structured Query Language) est le langage standard pour interagir avec une base de données relationnelle.

Le modèle relationnel simple mais puissant est utilisé par des organisations de tous types et de toutes tailles pour une grande variété de besoins d'information[50]. Les bases de données relationnelles sont utilisées pour suivre les inventaires, traiter les transactions de commerce électronique, gérer d'énormes quantités d'informations client critiques, et bien plus encore. Une base de données relationnelle peut être envisagée pour tout besoin d'information dans lequel les points de données sont liés les uns aux autres et doivent être gérés de manière sécurisée, basée sur des règles, et cohérente.

Les API

Une API est un ensemble de définitions et de protocoles qui facilite la création et l'intégration de logiciels d'applications[53]. API est un acronyme anglais qui signifie « Application Programming Interface », que l'on traduit par interface de programmation d'application.

Utilité : Les API permettent au produit ou service de communiquer avec d'autres produits et services sans connaître les détails de leur mise en œuvre. Elles simplifient le développement d'applications et font ainsi gagner du temps et de l'argent. Lorsque l'on conçoit de nouveaux outils et produits, ou que l'on assure la gestion de ceux qui existent déjà, les API offrent plus de flexibilité, simplifient la conception, l'administration et l'utilisation, et donnent les moyens d'innover. *Les API sont parfois considérées comme des contrats, avec une documentation qui constitue un accord entre les parties : si la partie 1 envoie une requête à distance selon une structure particulière, le logiciel de la partie 2 devra répondre selon les conditions définies. Chaque partie s'engage à respecter le contrat, donnant ainsi de la stabilité aux échanges[26]*

6. <https://www.tutorialspoint.com/Types-of-databases>

2.7. STRUCTURE MODULAIRE

Les API Web utilisent en général le protocole HTTP pour leurs messages de requête et fournissent une définition de la structure des messages de réponse. Les messages de réponse se présentent la plupart du temps sous la forme d'un fichier XML ou JSON. Ces deux formats sont les plus courants, car les données qu'ils contiennent sont faciles à manipuler pour les autres applications.

La gestion des utilisateurs

On fait en sorte que la gestion des utilisateurs soit indépendants de l'application. Cela allège l'application. De plus, à n'importe quel moment, de nouvelles règles peuvent être définies pour les utilisateurs. Ce module est hébergé sur une instance à part et délivre ses services.

L'administration (Dashboard admin)

La partie administration est une application à part entière qui communique avec la base de données. Différents modules sont implémentés : Essais, Institutions, etc. Cette partie est constituée du contrôleur en backend et d'une interface utilisateur.

Le côté client

2.7. STRUCTURE MODULAIRE

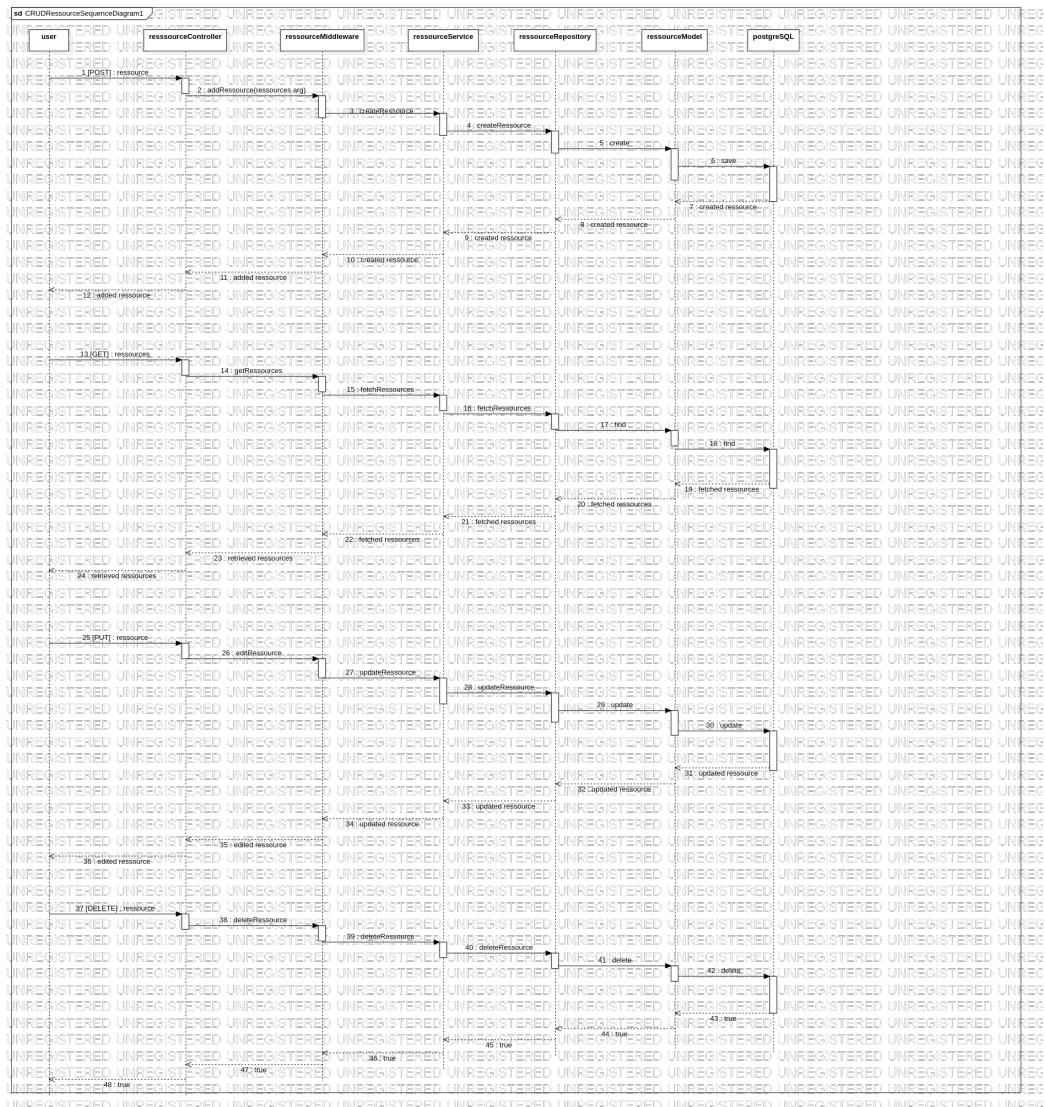


FIGURE 2.10 – Diagramme des séquences : CRUD ressources (pattern)

2.7. STRUCTURE MODULAIRE

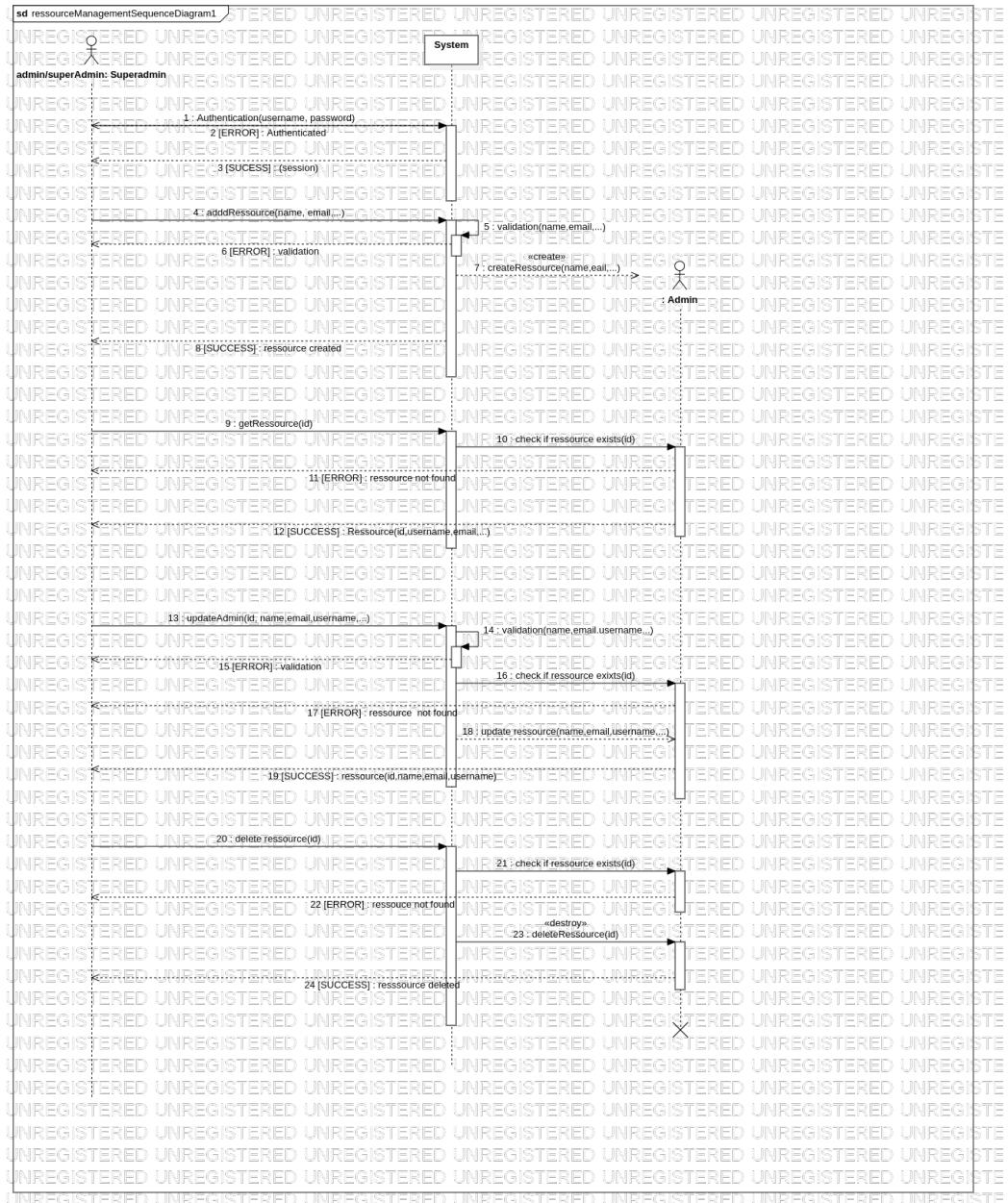


FIGURE 2.11 – Diagramme des séquences : gestion des ressources par l'administrateur

2.7. STRUCTURE MODULAIRE

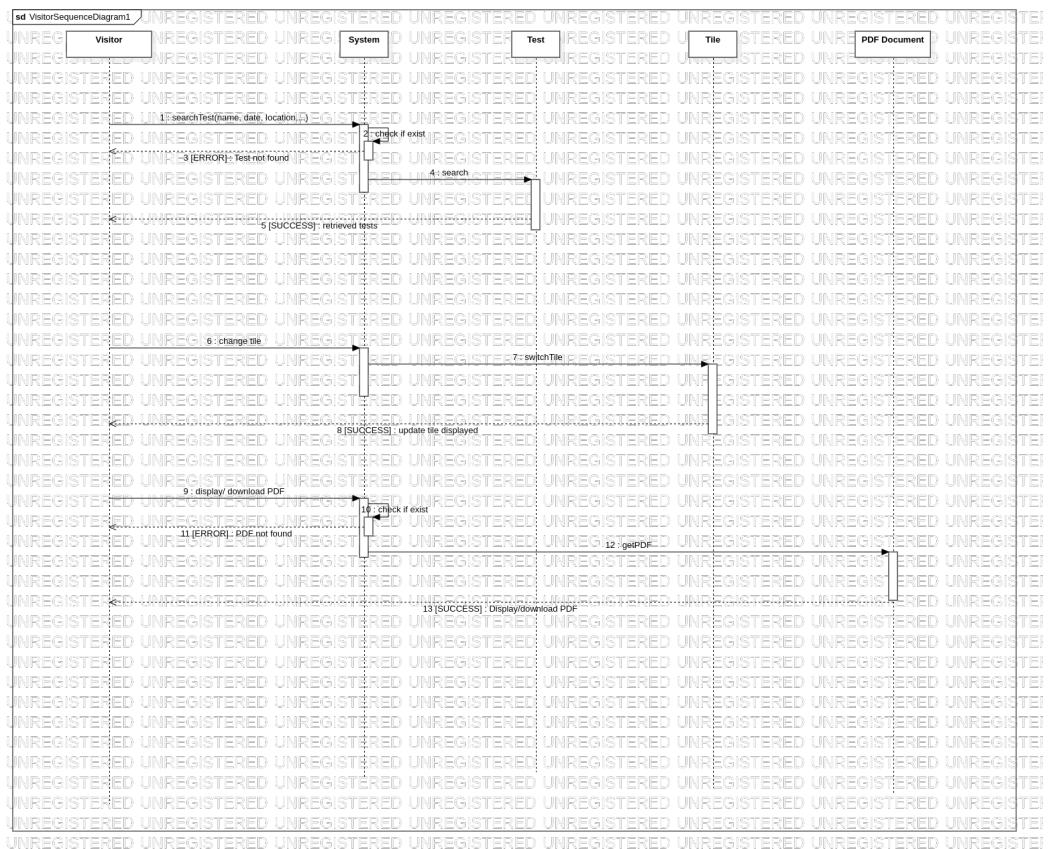


FIGURE 2.12 – Diagramme des séquences : visiteur utilisant le webmap

Chapitre 3

Implémentation

3.1 Choix des technologies

Au cours de la réalisation d'un logiciel numérique, l'une des étapes les plus importantes est de choisir la bonne pile technologique. Pourquoi ? Parce qu'il s'agit de créer un produit qui ne consiste pas uniquement à concevoir une interface utilisateur agréable et une expérience utilisateur pratique ; il s'agit également de concevoir un produit stable, sécurisé et maintenable qui, non seulement est en mesure de charmer les utilisateurs mais, encore, permettra de faire évoluer l'entreprise qui nous engage.

Chaque couche de l'application est construite au-dessus d'une autre, formant une pile. Cela rend les technologies Web fortement dépendantes les unes des autres. L'image 3.1 montre les principaux éléments constitutifs d'une pile technologique typique ; cependant, il peut y avoir d'autres éléments de soutien impliqués.

3.1.1 Frontend

L'interface utilisateur est également appelée côté client, car les utilisateurs voient et interagissent avec cette partie d'une application. Pour une application web, cette interaction s'effectue dans un navigateur web et est possible grâce à de nombreux outils de programmation (Tableau 3.1). Les applications Web destinées aux clients sont généralement créées à l'aide d'une combinaison de JavaScript, HTML et CSS.

Outils que nous utilisons pour le développement frontend :

3.1. CHOIX DES TECHNOLOGIES

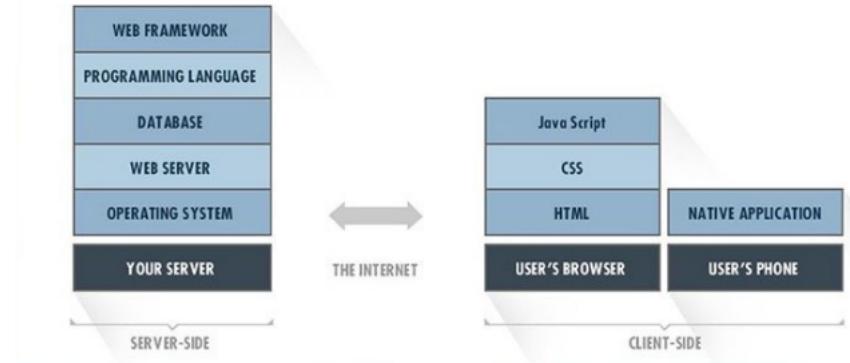


FIGURE 3.1 – Modèle du cycle de vie en cascade [32]

HTML : (Hypertext Markup Language) est un langage de programmation utilisé pour décrire la structure des informations présentées sur une page Web. *Le World Wide Web est aujourd’hui l’une des sources d’information les plus importantes. La plupart des données sur le Web sont disponibles sous forme de pages encodées dans des langages de balisage tels que HTML destinés aux navigateurs visuels [61].*

Pour la réalisation de GeoTechMap, nous utilisons HTML5 qui est la plus récente édition recommandée par le World Wide Web Consortium (W3C) [31].

CSS : (Cascading Style Sheets) est un langage de feuille de style qui décrit l’apparence et la mise en forme d’un document écrit en HTML. CSS est utilisé pour annoter du texte et incorporer des balises dans des documents électroniques stylisés. Le CSS est encore plus important car il doit être pris en compte pour que l’application s’adapte à tout type d’écran. Nous pouvons constater la montée du trafic web via les téléphones mobiles (Figure 3.2) ; de ce fait, l’interface utilisateur doit pouvoir s’adapter à n’importe quelle dimension d’écran.

JavaScript (ou JS) : C’est la troisième technologie principale pour créer l’interface de GeoTechMap. JavaScript est couramment utilisé pour créer des pages Web dynamiques et interactives. En d’autres termes, il permet des animations Web simples et complexes, qui contribuent grandement à une expérience utilisateur positive.

JavaScript est devenu le langage de facto pour la programmation Web côté client [41].

3.1. CHOIX DES TECHNOLOGIES

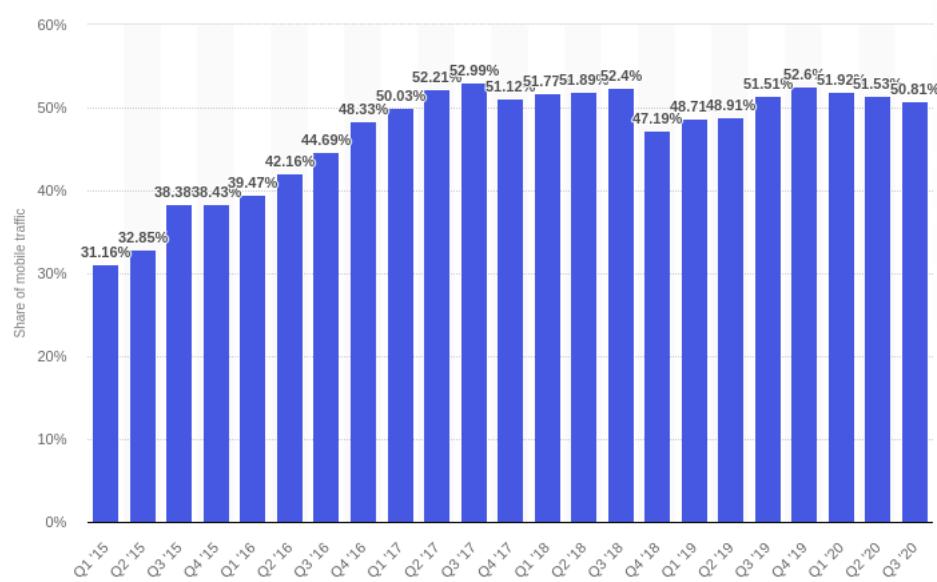


FIGURE 3.2 – Pourcentage du trafic du site Web sur les appareils mobiles dans le monde du 1er trimestre 2015 au 3ème trimestre 2020 [21]

React : C'est une bibliothèque JavaScript pour créer des interfaces utilisateur. ReactJS offre des solutions élégantes à certains des problèmes les plus persistants de la programmation frontend, nous permettant de créer facilement des applications Web dynamiques et interactives. Il est rapide, évolutif, flexible, puissant et dispose d'une solide communauté de développeurs qui se développe rapidement. *Il s'agit actuellement de la bibliothèque JS frontale la plus populaire [25].*

3.1.2 Backend

Le backend, qui n'est pas visible pour les utilisateurs finaux, implique la logique métier, l'authentification, la gestion de la base de données et les synchronisations avec l'application cliente. Également appelé côté serveur, il est composé d'un serveur, d'une base de données et d'applications qui s'exécutent dessus.

Même si le backend fonctionne en dehors de la scène et n'est pas visible pour les utilisateurs, c'est le moteur qui pilote votre application et met en œuvre sa logique. Le serveur Web, qui fait partie du backend, accepte les requêtes d'un navigateur, traite ces requêtes selon une certaine logique, se tourne vers la base de données si nécessaire et renvoie le contenu pertinent.

Les applications Web sophistiquées d'aujourd'hui ne peuvent pas fonction-

3.1. CHOIX DES TECHNOLOGIES

Technologie	Version	Détails
HTML	5	HTML5 est conçu pour rendre le développement de ces applications Web riches plus facile, plus naturel et plus logique, où les développeurs peuvent concevoir et créer une seule fois, et les déployer n'importe où. HTML5 rend également les applications Web plus utilisables, car il supprime le besoin de plugins [60].
CSS	3	bla
JS	ES6	« ES » est l'abréviation d'ECMAScript, le standard sur lequel repose JavaScript. Tous les navigateurs modernes supportent l'ES6 depuis un moment, et les frameworks majeurs (Angular, React, Vue...) utilisent tous cette nouvelle version de JavaScript
React	17	<i>Bien que React v17 ne propose aucune nouvelle fonctionnalité, il établit une base solide pour les versions à venir en abordant directement l'expérience de mise à niveau et en alignant plus étroitement le comportement de React sur les navigateurs modernes [59].</i>

TABLE 3.1 – Les technologies utilisées pour le développement du frontend de GeoTechMap

3.1. CHOIX DES TECHNOLOGIES

ner sans les services frontaux et backend [24].

Système d'exploitation

Le système d'exploitation installé sur le serveur est le plus souvent Windows ou Linux. Dans notre cas, il s'agit de Linux pour plusieurs raisons. *Les systèmes Linux ont tendance à être plus dynamiques que les systèmes Windows, en raison du taux rapide de mises à jour dans de nombreux projets Linux [51].*

En effet, la liste des avantages de ce système d'exploitation est longue. Citons entres autres [15] :

- **Open source** : Comme il est open source, son code source est facilement disponible. Toute personne ayant des connaissances en programmation peut personnaliser le système d'exploitation. On peut contribuer, modifier, distribuer et améliorer le code dans n'importe quel but.
- **Sécurité** : La fonction de sécurité est la principale raison pour laquelle il s'agit de l'option la plus favorable pour les développeurs. Bien que cette fonction ne peut atteindre le maximum, ce système d'exploitation est moins vulnérable par rapport à d'autres. Chaque application doit être autorisée par l'utilisateur administrateur. Le virus n'est pas exécuté tant que l'administrateur n'a pas fourni le mot de passe d'accès. Ce système ne nécessite aucun programme antivirus. De plus, Linux est aussi mieux protégé contre les virus car il a un grand nombre de développeurs open source qui gardent un œil sur les choses liées aux virus. Si un code source doit être mis à jour, cela se fait en un rien de temps.
- **Léger** : Le système est léger. Les exigences d'exécution sont bien inférieures à celles des autres systèmes d'exploitation. De plus, l'empreinte mémoire et l'espace disque sont également inférieurs. En règle générale, la plupart des distributions Linux ne nécessitent que 128 Mo de RAM, soit environ la même quantité d'espace disque.
- **Stabilité** : Il est plus stable que les autres systèmes d'exploitation. Linux n'a pas besoin de redémarrer le système pour maintenir les niveaux de performances. Il raccroche ou ralentit rarement.
- **Convient aux programmeurs** : Il prend en charge presque tous les langages de programmation les plus utilisés tels que C / C ++, Java, Python, Ruby, etc. De plus, il offre une vaste gamme d'applications utiles pour le développement. Les programmeurs préfèrent le terminal Linux à la ligne de commande Windows. Le gestionnaire de paquets sur ce système préférentiel aide les programmeurs à comprendre comment

3.1. CHOIX DES TECHNOLOGIES

les choses sont faites. Le script bash est également une fonctionnalité pour les programmeurs. Il prend également en charge SSH, ce qui permet de gérer rapidement les serveurs.

La liste est longue (grande communauté, réseau, compatibilité, installation, etc). Par conséquent notre choix s'est porté sur le système d'explotation le mieux adapté à ce projet, en l'occurrence Linux.

Serveur web

Il s'agit d'un composant qui synchronise la communication entre les navigateurs, les applications mobiles et le serveur principal. Il utilise HTTP/HTTPS pour transférer des données entre les deux extrémités. Dans notre cas, nos serveurs sont des instances chez AWS nommées EC2.

Une instance EC2 est un serveur virtuel dans *Elastic Compute Cloud* (EC2) d'Amazon pour exécuter des applications sur l'infrastructure Amazon Web Services (AWS).

Le *cloud* nous offre de nombreux avantages techniques et économiques par rapport à d'autres plateformes qui commencent tout juste à être identifiées. Il combine la personnalisation des machines virtuelles, l'évolutivité et le partage des ressources, ainsi que la stabilité et l'économie du logiciel en tant que service (Platform as a Service : SaaS) [44].

Base de données

Une base de données est une collection organisée d'informations. Les bases de données comprennent généralement des agrégations d'enregistrements de données ou de fichiers.

Il existe différents types de bases de données utilisées pour stocker différentes variétés de données : centralisée, distribuée, relationnelle, NoSQL, orientée object, ... [16]

Pour la réalisation de GeoTechMap, nous faisons le choix d'une base de données relationnelle. En effet, cette base de données est basée sur le modèle relationnel, qui stocke les données sous forme de lignes (tuples) et de colonnes (attributs), pouvant donner lieu à une table (relation). Une base de données relationnelle utilise SQL pour stocker, manipuler et conserver les données. Chaque table de la base de données contient une clé qui rend les données uniques des autres. MySQL, Microsoft SQL Server, Oracle, ... sont des exemples de bases de données relationnelles.

La technologie des bases de données relationnelles offre des améliorations considérables de la productivité tant pour les utilisateurs finaux que pour les programmeurs d'applications [35].

3.1. CHOIX DES TECHNOLOGIES

Propriétés d'une base de données relationnelle Il existe quatre propriétés communément connues d'un modèle relationnel appelées propriétés ACID [16], où :

- **A signifie Atomicité** : Cela garantit que l'opération de données se terminera avec succès ou échec. Il suit la stratégie du «tout ou rien». Par exemple, l'enregistrement d'un test sera soit validé, soit abandonné.
- **C signifie Cohérence** : Si nous effectuons une opération sur une donnée, sa valeur avant et après l'opération doit être préservée. Par exemple, le nombre d'essais enregistrés avant et après une modification doit être correct.
- **I signifie Isolation** : Il peut y avoir des utilisateurs qui accèdent simultanément aux données dans la base. Ainsi, l'isolement entre les données doit être en compte. Par exemple, lorsque plusieurs modifications sont effectuées en même temps, les effets d'une action ne doivent pas être visibles pour les autres au sein de la base de données.
- **D signifie Durabilité** : Il garantit qu'une fois l'opération terminée et validé les données, les modifications de données doivent rester permanentes.

Pourquoi PostgreSQL comme SGBD ?

Selon le site officiel de PostgreSQL [20], il s'agit d'un puissant système de base de données relationnelle objet et open source qui utilise et étend le langage SQL combiné à de nombreuses fonctionnalités qui stockent et mettent à l'échelle en toute sécurité les charges de travail de données les plus complexes.

PostgreSQL est livré avec de nombreuses fonctionnalités destinées à aider les développeurs à créer des applications, les administrateurs à protéger l'intégrité des données et à créer des environnements tolérants aux pannes, et aider le client à gérer ses données, quelle que soit leur taille. En plus d'être gratuit et open source, PostgreSQL est hautement extensible.

PostgreSQL est populaire auprès des développeurs en raison de nombreuses fonctionnalités telles que : le partitionnement natif, les requêtes parallèles, la prise en charge de wrappers de données étrangers, de puissantes fonctionnalités JSON, le streaming et la réPLICATION logique et la disponibilité de nombreux outils open source, les sauvegardes et la surveillance.

De plus, plusieurs bases de données géotechniques ont été déjà réalisées avec PostgreSQL et ce fut un succès. Tel est le cas du "développement de la base

3.1. CHOIX DES TECHNOLOGIES

de données géotechniques du sous-sol de Bangkok en utilisant GRASS-GIS" [52].

Application backend

Langage de programmation : Différents langages de programmation peuvent être utilisés pour développer l'application backend. Les plus populaires sont Java, Python, JavaScript, PHP.

3.2 La hiérarchie de l'application

La hiérarchie visuelle est l'ordre dans lequel l'utilisateur traite les informations par niveau d'importance. Dans la conception d'interface, ce concept est très important. *La hiérarchie visuelle est la différence entre un site qui influence stratégiquement le flux et les décisions des utilisateurs, et un site qui «a l'air cool» [33].*

Plusieurs facteurs ont été pris en compte pour créer une hiérarchie correcte :

- La dimension des éléments ; il faut attirer l'attention sur ce qui est le plus important tout en évitant que l'utilisateur soit distrait par les éléments les moins importants.
- La couleur est une ressource visuelle puissante, sa bonne utilisation permet de séparer efficacement les éléments d'un écran pour les hiérarchiser ou les déprioriser. Dans la conception d'interfaces, la couleur la plus forte est souvent celle de l'interaction, car l'utilisateur a besoin d'agir ou de recevoir des commentaires du système.
- L'alignement : Tout élément qui se sépare de l'alignement des autres attirera l'attention. En effet, l'alignement crée de l'ordre entre les éléments, tout changement de cette règle sera considéré de manière spéciale pour la vue humaine et se démarquera.
- La répétition : Dans la conception d'interface, la répétition crée un sentiment d'unité et de cohérence tout au long de l'expérience.
- Simplicité : Il est important de garder un plafond sur le nombre de façons dont l'accent est mis dans une conception et d'être cohérent sur la façon dont ils sont utilisés. Cela réduira au minimum les distractions.
- ...[14]

On le voit, la hiérarchie est un élément important de tout projet de conception de site Web. Elle détermine le flux et le succès de chaque page de notre site Web.

3.3. ERGONOMIE

3.3 Ergonomie

Alain Wisner, un pionnier de l'ergonomie en France définit le terme ainsi : *L'ensemble des connaissances scientifiques relatives à l'Homme nécessaires pour concevoir des outils, des machines et des dispositifs qui puissent être utilisés avec le maximum de confort, de sécurité et d'efficacité.*

A l'heure actuelle, cette discipline s'applique parfaitement dans le cadre de la création de sites web. En effet, lors de leur conception, il est primordial de faciliter l'interaction entre l'homme et l'interface autant pour le propriétaire du site qui va l'administrer que de ses usagers (les internautes) qui vont le consulter. La réussite d'un site internet passe donc aussi par l'orientation de sa conception en fonction des utilisateurs de ce dernier [17].

La réussite de notre application web est due aux trois principaux éléments de l'ergonomie web suivants : utilité, utilisabilité et satisfaction.

Utilité Un internaute peut facilement réussir à réaliser l'action pour laquelle il est venu dans le système.

Utilisabilité Un internaute peut effectuer ses actions rapidement et de manière intuitive avec le moins d'erreurs possible.

Satisfaction Les internautes devraient donc être satisfaits une fois leur action terminée et réalisée avec succès car nous tâchons de "joindre l'utile à l'agréable".

Nous plaçons l'expérience de vos internautes au cœur de tout, et augmentons par conséquent nos chances qu'ils l'apprécient, y reviennent plus souvent et en parlent autour d'eux.

3.4. DÉPLOIEMENT

3.4 Déploiement

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

3.5 Sécurité du système

3.5.1 Sécurité de l'application web

La sécurité des applications Web est un élément central de toute entreprise basée sur le Web. La nature globale d'Internet expose les propriétés Web à des attaques à partir de différents endroits et à différents niveaux d'échelle et de complexité. La sécurité des applications Web traite spécifiquement de la sécurité des sites Web, des applications Web et des services Web tels que les API.

Les attaques contre les applications Web vont de la manipulation ciblée de bases de données à une perturbation du réseau à grande échelle. Analysons ensemble quelques vecteurs d'attaque les plus courantes et comment nous les contournons. N.B : Nous nous basons sur les publications de l'OWASP¹.

Injection

Une injection de code se produit lorsqu'un individu envoie des données invalides à l'application Web avec l'intention de lui faire faire quelque chose pour lequel l'application n'a pas été conçue. Plus précisement, l'injection SQL est un moyen courant par lequel les pirates et les utilisateurs malveillants tentent de pirater des applications. Dans une injection SQL (SQi), ils « injectent » des valeurs dans une requête de base de données afin d'obtenir une visibilité sur la structure de la base de données et éventuellement d'accéder aux données personnelles stockées dans la base de données.

La cause principale d'une vulnérabilité d'injection de code est le manque de validation et de désinfection des données utilisées par l'application Web. Pour faire face à cet type d'attaque, nous utilisons une méthode un peu similaire à la solution native de Java "prepared statements" (Code 3.1). Il s'agit d'exécuter les requête SQL dans Spring Boot en utilisant la classe NamedParameterJdbcTemplate (Code 3.2). Cette méthode présente un avantage supplémentaire en fournissant plus de clarté en remplaçant les points d'interrogation dans la requête par des noms significatifs.

Listing 3.1 – Éviter SQi en Java : Prepared statements

```
public List<User> getUserById( String userId )
throws SQLException {
String sql = "select "
```

1. OWASP signifie Open Web Application Security Project, une communauté en ligne qui produit des articles, des méthodologies, de la documentation, des outils et des technologies dans le domaine de la sécurité des applications Web.

3.5. SÉCURITÉ DU SYSTÈME

```

        + " first_name ,last_name ,username"
        + " from users where "
        + " userId = ? ";
    }

    Connection c = dataSource.getConnection();
    PreparedStatement p = c.prepareStatement(sql);
    p.setString(20, userId);
    ResultSet rs = p.executeQuery(sql));
}

```

Listing 3.2 – Éviter SQI avec Spring Boot : NamedParameterJdbcTemplate

```

Map<String , Object> params = new HashMap<>();
integer userId = 20;

String sql = "select "
+ "first_name ,last_name ,username"
+ "from users where "
+ "userId = :userId ";

params.put("userId", userId);
template.update(sql , params );

```

De plus, pour éviter tout risque d'injection de code, nous utilisons un ORM (Object Relational Mapping), qui encapsule tout interaction entre l'application et la base de données.

Broken Authentication

"Broken Authentication" est vulnérabilité peut permettre à un attaquant d'utiliser des méthodes manuelles et/ou automatiques pour essayer de prendre le contrôle de n'importe quel compte qu'il souhaite dans un système - ou pire encore - pour obtenir un contrôle complet sur le système.

Broken Authentication fait généralement référence à des problèmes de logique qui surviennent au niveau du mécanisme d'authentification de l'application - par exemple une mauvaise gestion de session - lorsqu'un acteur malveillant utilise des techniques de force brute pour deviner ou confirmer des utilisateurs valides dans un système.

Pour minimiser les risques de Broken Authentication, nous ne laissons pas la page de connexion des administrateurs accessible publiquement à tous

3.5. SÉCURITÉ DU SYSTÈME

les visiteurs du site Web. De plus nous prenons un ensemble de mesures de précaution. Voici quelques exemples :

- Nous implémentons l'authentification multifacteur (en utilisant Keycloak) pour empêcher les attaques automatisées, les attaques par force brute et la réutilisation d'informations d'identification volées.
- Nous ne déployons pas l'application avec des informations d'identification par défaut.
- Nous implémentons la vérifications de mots de passe faibles, en les testant les par rapport à une liste (10 million password list top 1000000.txt) [6].
- Nous utilisons les politiques de longueur, de complexité et de rotation des mots de passe avec les directives NIST 800-63 B de la section 5.1.1 [42] [9].
- Nou limitons ou retardons de plus en plus les tentatives de connexion infructueuses [5].

Exposition des données sensibles

L'exposition de données sensibles est l'une des vulnérabilités les plus répandues sur la liste OWASP. Il s'agit du fait de compromettre des données qui auraient dû être protégées. Nous comprenons l'importance de la protection des informations et de la vie privée des utilisateurs car même si les données géotechniques sont accessibles au grand public, cependant les administrateurs peuvent utiliser des leurs nom d'utilisateur et mot de passe habituels pour se connecter sur GeoTechMap. Par conséquent, nous devons protéger leur données personnelles.

Nous protégeons les données au repos et ceux en mouvement. Pour la sécurité des données en mouvement nous faisons usage de certificats SSL/TLS. SSL est l'acronyme de Secure Sockets Layer. Il s'agit de la technologie de sécurité standard pour établir un lien crypté entre un serveur Web et un navigateur. Les certificats SSL aident à protéger l'intégrité des données en transit entre l'hôte (serveur Web ou pare-feu) et le client (navigateur Web).

Quelques mesures que nous prenons pour éviter l'exposition des données :

- Nous identifions les données sensibles conformément aux lois sur la confidentialité.
- Nous ne stockons pas de données sensibles inutilement.
- Nous nous assurons de crypter toutes les données sensibles qui sont au repos.
- Nous nous assurons que les algorithmes, les protocoles que nous utilisons sont à jour.

3.5. SÉCURITÉ DU SYSTÈME

- Nous cryptons toutes les données en transit avec des protocoles sécurisés tels que TLS avec des chiffrements PFS (Perfect Forward Secrecy).
- Nous stocker les mots de passe à l'aide de puissantes fonctions de hachage (PBKDF2 [18]) adaptatives et contenant un 'salt'.

XML External Entities (XXE)

Cette attaque se produit lorsque l'entrée XML contenant une référence à une entité externe est traitée par un analyseur XML configurée sans sécurité. Nous contournons ce problème en utilisant le plus souvent des formats de données moins complexes, tels que JSON, et évitons la sérialisation des données sensibles. De plus nous mettons à jour les processeurs et bibliothèques XML utilisés par l'application.

D'autres types d'attaque sont pris en compte (Cross-Site Scripting (XSS), désérialisation non sécurisée, utilisations de composants contenant des vulnérabilités, Cross-site request forgery (CSRF), déni de service distribué (DDoS), etc) et l'objectif reste le même : protéger l'application et les données des utilisateurs.

3.5.2 Sécurité du server web

3.5.3 Sécurité de la base de données

3.6. LIMITATIONS DU SYSTÈME

3.6 Limitations du système

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

3.7 Coûts

Lore ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

Chapitre 4

Conclusion

4.1 Ameliorations futures

4.1.1 Suite du projet

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

4.1.2 Défis rencontrés

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetuer id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla.

4.2. BILAN

Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

4.1.3 Propositions

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit. Ut purus elit, vestibulum ut, placerat ac, adipiscing vitae, felis. Curabitur dictum gravida mauris. Nam arcu libero, nonummy eget, consectetur id, vulputate a, magna. Donec vehicula augue eu neque. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Mauris ut leo. Cras viverra metus rhoncus sem. Nulla et lectus vestibulum urna fringilla ultrices. Phasellus eu tellus sit amet tortor gravida placerat. Integer sapien est, iaculis in, pretium quis, viverra ac, nunc. Praesent eget sem vel leo ultrices bibendum. Aenean faucibus. Morbi dolor nulla, malesuada eu, pulvinar at, mollis ac, nulla. Curabitur auctor semper nulla. Donec varius orci eget risus. Duis nibh mi, congue eu, accumsan eleifend, sagittis quis, diam. Duis eget orci sit amet orci dignissim rutrum.

4.2 Bilan

Ce projet nous a donné l’opportunité de prendre connaissance des certaines réalités du monde de l’ingénieur. Il a été un complément, un support pour différents cours suivis durant ces cinq années à la Faculté. La réalisation de Géotech a permis de démistifier, de concrétiser beaucoup de notions et de matérialiser certains concepts. Il illustre les théories en nous mettant dans un cadre professionnel avec l’URGéo.

Ce projet s’avère très utile dans notre formation. Il a été une expérience très enrichissante. Maintenant nous sommes en mesure de forger un jugement professionnel en ce qui a trait aux différents points élaborés dans Géotech.

Bibliographie

- [1]
- [2] <http://ciat.gouv.ht/sites/default/files/articles/files/atlas>
- [3] <http://legeotechnicien.blogspot.com/2010/08/moyens-dinvestigation-in-situ-2.html>.
- [4] [https://geotechsol.com/.](https://geotechsol.com/)
- [5] [https://github.com/keycloak/keycloak-documentation/.](https://github.com/keycloak/keycloak-documentation/)
- [6] <https://github.com/keycloak/keycloak-documentation>
<https://github.com/keycloak/keycloak-documentation>.
- [7] [https://hackernoon.com/a-case-study-type-insight-into-agile-methodologies-for-software-development-cd5932c6.](https://hackernoon.com/a-case-study-type-insight-into-agile-methodologies-for-software-development-cd5932c6)
- [8] [https://lnbtp.gouv.ht/.](https://lnbtp.gouv.ht/)
- [9] [https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.800-63b.pdf.](https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.800-63b.pdf)
- [10] [https://sernageomin.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=2235c5a7264548558adac19b04936903.](https://sernageomin.maps.arcgis.com/home/webmap/viewer.html?webmap=2235c5a7264548558adac19b04936903)
- [11] [https://ws.mapserver.transports.gouv.qc.ca/donnees/geomatique/.](https://ws.mapserver.transports.gouv.qc.ca/donnees/geomatique/)
- [12] <https://www.arcgis.com/apps/webappviewer/index.html?id=03b9e16243ef480988e470c325e4>
- [13] [https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/site-d-investigation-geotechnique/.](https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset/site-d-investigation-geotechnique/)
- [14] [https://www.interaction-design.org/literature/topics/visual-hierarchy.](https://www.interaction-design.org/literature/topics/visual-hierarchy)
- [15] [https://www.javatpoint.com/advantages-of-linux.](https://www.javatpoint.com/advantages-of-linux)
- [16] [https://www.javatpoint.com/types-of-databases.](https://www.javatpoint.com/types-of-databases)
- [17] [https://www.keacrea.com/ergonomie-web-qu'est-ce-que-c'est.](https://www.keacrea.com/ergonomie-web-qu'est-ce-que-c'est)
- [18] [https://www.keycloak.org/docs/.](https://www.keycloak.org/docs/)
- [19] <https://www.larousse.fr/encyclopedie/pays/ha>
- [20] [https://www.postgresql.org/about/.](https://www.postgresql.org/about/)

BIBLIOGRAPHIE

- [21] <https://www.statista.com/statistics/277125/share-of-website-traffic-coming-from-mobile-devices/>.
- [22] <http://www.bme.gouv.ht/>.
- [23] <http://www.urgeo.net/>.
- [24] Hanin M Abdullah and Ahmed M Zeki. Frontend and backend web technologies in social networking sites : Facebook as an example. In *2014 3rd international conference on advanced computer science applications and technologies*, pages 85–89. IEEE, 2014.
- [25] Sanchit Aggarwal. Modern web-development using reactjs. *International Journal of Recent Research Aspects*, 5(1) :2349–7688, 2018.
- [26] Alteva. Mission api : la bibliothèque d’api de mission.
- [27] Antoljak, Strahimir, and Carrona. Subsurface databases in geoenvironmental engineering. *Chemical Engineering Transactions*, 2012.
- [28] Laurent Audibert. *Uml 2 : de l'apprentissage à la pratique*, volume 298. Ellipses, 2009.
- [29] K. A. M. I. L. A. M. E. L. BENACHENHOU EP HAKIKI. *Approche systémique du management des risques dans l'ingénierie géotechnique. Pour une interopérabilité des acteurs dans l'environnement algérien*. PhD thesis, 2019.
- [30] D Bertil, C Prépetit, M Belvaux, and G Noury. l’équipe microzonage, 2013 : Microzonage sismique de port-au-prince(haïti) : rapport de synthèse. *Rapport Final. BRGM/RC-63100-FR*.
- [31] Terrence A Brooks. World wide web consortium (w3c). In *Encyclopedia of library and information sciences*, pages 5695–5699, 2010.
- [32] Daria Bulatovych. Choosing a tech stack for the full-cycle web application development in 2021.
- [33] J Cao. The 5 pillars of visual hierarchy in web design, 2015.
- [34] Guillaume Chamel. Lors d’un projet d’aménagement.
- [35] Edgar F Codd. Relational database : A practical foundation for productivity. In *Readings in Artificial Intelligence and Databases*, pages 60–68. Elsevier, 1989.
- [36] Denis Conan, Chantal Taconet, and Octobre Christian Bac. *Introduction au langage de modélisation uml*. 2015.
- [37] JE Daniell, B Khazai, and F Wenzel. Uncovering the 2010 haiti earthquake death toll. *Natural Hazards and Earth System Sciences Discussions*, 1(3) :1913–1942, 2013.

BIBLIOGRAPHIE

- [38] Reginald DesRoches, Mary Comerio, Marc Eberhard, Walter Mooney, and Glenn J Rix. Overview of the 2010 haiti earthquake. *Earthquake Spectra*, 27(1_suppl1) :1–21, 2011.
- [39] David galiana. Qu'est-ce que la méthodologie waterfall ? 2017.
- [40] J.-M. Gandolfi, A. Meilhac, and O. Renault. Elaboration d'une base de données géotechniques sur l'ile de cayenne. 2001. Notice d'utilisation du logiciel BD-GTC _ version 2.1.
- [41] Philippa Anne Gardner, Sergio Maffeis, and Gareth David Smith. Towards a program logic for javascript. In *Proceedings of the 39th annual ACM SIGPLAN-SIGACT symposium on Principles of programming languages*, pages 31–44, 2012.
- [42] Paul A Grassi, James L Fenton, Elaine M Newton, Ray A Perlner, Andrew R Regenscheid, William E Burr, Justin P Richer, Naomi B Lefkovitz, Jamie M Danker, YeeYin Choong, et al. Draft nist special publication 800-63b digital identity guidelines. *National Institute of Standards and Technology (NIST)*, 27, 2016.
- [43] Gérald Holly. Les problèmes environnementaux de la région métropolitaine de port-au-prince. *Port-au-Prince, ouvrage collectif, Commission pour la commémoration du 250è anniversaire de la fondation de la ville de Port-au-Prince*, 1999.
- [44] Gideon Juve, Ewa Deelman, Karan Vahi, Gaurang Mehta, Bruce Beriman, Benjamin P Berman, and Phil Maechling. Scientific workflow applications on amazon ec2. In *2009 5th IEEE international conference on e-science workshops*, pages 59–66. IEEE, 2009.
- [45] Sean Keen, Alex Hossack, and Mehmet S. Kizil. Development and implementation of a geotechnical database management system. *Unknown*, 2015.
- [46] Larousse. Larousse.
- [47] Par Andrew Littlefield. Gestion de projets : méthode agile et scrum pour les nuls. *Unknown*, 2017.
- [48] Banque Mondiale, Système des Nations Unies, et al. Haïti : Pdna du tremblement de terre û évaluation des dommages, des pertes et des besoins généraux et sectoriels. In *Haïti : PDNA du Tremblement de Terre û Evaluation des dommages, des pertes et des besoins généraux et sectoriels*, pages 121–121. 2010.
- [49] N. Mongereau and A. Kaaniche. Conception et réalisation d'une base de données géologiques et géotechniques orientée vers la cartographie

- géotechnique : Application a la ville de tunis (tunisie). *Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur*, 37(1) :123–130, 1988.
- [50] Oracle. What a relational database is.
 - [51] Steven Ovadia. Linux for academics, part ii : The advantages of free and open-source software. *Behavioral & Social Sciences Librarian*, 33(1) :47–51, 2014.
 - [52] Suwanwiwattana Panoot, Korchoke Chantawarangul Korchoke, Warakorn Mairaing, and Pakorn Apaphant. The development of geotechnical database of bangkok subsoil using grass-gis. 2001.
 - [53] RedHat. Qu'est-ce qu'une api.
 - [54] Max Rehkopf. Kanban vs. scrum : which agile are you ?
 - [55] HAJ Russell, C Logan, TA Brennand, MJ Hinton, and DR Sharpe. Regional geoscience database for the oak ridges moraine project (southern ontario). *Current Research*, pages 191–200, 1996.
 - [56] Christophe Schaudel. Mettre en place un processus ux en 5 étapes. *Unknown*, 2020.
 - [57] J. Scott, S. van Ballegooy, M. Stannard, V. Lacrosse, and J. Russell. The benefits and opportunities of a shared geotechnical database. In *6th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering, Christchurch, New Zealand*. Retrieved from https://secure.tcc.co.nz/ei/images/ICEGE15%20Papers/Scott_700.00.pdf, 2015.
 - [58] Marthe Karin Sanden Skauge. Humble bumble-using gamification as a motivator to create environmentally friendly habits. Master's thesis, The University of Bergen, 2019.
 - [59] Harsha Vardhan. What's new in react v17 ? 2020.
 - [60] Vanessa Wang, Frank Salim, and Peter Moskovits. *The definitive guide to HTML5 WebSocket*, volume 1. Springer, 2013.
 - [61] Yudong Yang, Yu Chen, and HongJiang Zhang. Html page analysis based on visual cues. In *Web Document Analysis : Challenges and Opportunities*, pages 113–131. World Scientific, 2003.
 - [62] Zimmermann, Roger, Bardet, Jean-Pierre, Ku, Wei-Shinn, Hu, Jianping, Swift, and Jennifer. Design of a geotechnical information architecture using web services. In *Proceedings of the Seventh World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics (SCI 2003)*, pages 27–30. Citeseer, 2003.

appendix appendix appendix appendix appendix appendix appendix
 appendix appendix appendix appendix appendix appendix

ANNEXES

Annexes

appendix one	68
appendix two	68