



---

## Rapport du projet de visualisation des trajectoires de courses à pied

---

**Hiba AIT OUMAJOUD, Damien D'ARRAS, Omran EDOO, Lina SABA**

Mars - Avril 2023

Non confidentiel    Confidential IGN    Confidential Industrie    Jusqu'au ...



# Remerciements

---

La réalisation de ce projet a été possible grâce à plusieurs personnes auxquelles nous voulons témoigner de toute notre reconnaissance et grande gratitude.

Nous offrons premièrement nos sincères et chaleureux remerciements et respect à nos encadrants. Mme María Jesús Lobo, pour la confiance quelle a porté à notre égard, pour ses précieux conseils, sa guidance. Mr. Jacques Gautier pour la considération, son partage de connaissance, son suivi exhaustif et sa grande disponibilité qui ont contribué à alimenter notre réflexion.

Nous tenons par la même occasion à remercier les membres de jury d'avoir accepté d'examiner ce travail de fin d'année et l'enrichir par leurs appréciation, jugements et suggestions.

Finalement nous adressons un remerciement particulier au corps enseignant de la Filière des Technologies des systèmes d'information à l'ENSG et notamment Victor Coindet, pour tous les efforts fournis pour notre bonne formation.

## Résumé

Ce rapport présente le projet "TrailLove76200", qui vise à visualiser les trajectoires des participants à la course Oxfam Trailwalker 2021 et à fournir une analyse spatio-temporelle de ces trajectoires. Le contexte du projet est l'exploration des données collectées pendant la course pour identifier les difficultés rencontrées par les participants et fournir des analyses de performance détaillées. Le principal défi est de trouver un moyen efficace de visualiser ces données et d'offrir des outils d'analyse aux organisateurs de la course et aux chercheurs intéressés par les données collectées.

Pour relever ce défi, le projet propose le développement d'une application web performante capable de représenter l'évolution de l'allure des participants en fonction de différents paramètres. L'application permet une visualisation 2D et 2D+1 claires et précises des données, ainsi qu'une analyse spatio-temporelle des trajectoires. Elle permet une prise en main rapide par les utilisateurs grâce aux différents aides fournis.

Le rapport dresse la liste des frameworks et technologies utilisés, notamment Express.js pour le back-end, Vue.js pour le front-end, PrimeVue pour les composants personnalisables, Three.js pour la visualisation 3D et Jest pour les tests.

Dans l'ensemble, le projet présente de bons résultats et des informations assez complètes, bien que les tests unitaires réalisés de la partie Front-end de l'application restent incomplets.

**Mots clés :** Développement web, visualisation trajectoire, 2D/2D+1, projet étudiant, JS.



# Table des matières

<b>Glossaire et sigles utiles</b>	<b>5</b>
<b>Introduction</b>	<b>7</b>
<b>1 Contexte et problématique</b>	<b>9</b>
1.1 Contexte . . . . .	9
1.2 Problématique . . . . .	9
1.3 Besoins . . . . .	9
1.4 Données . . . . .	10
1.5 Cas d'usages . . . . .	11
<b>2 Réalisation et suivi du projet</b>	<b>13</b>
2.1 Méthodologie Agile . . . . .	13
2.2 Gestion des risques . . . . .	14
<b>3 Etude technique</b>	<b>17</b>
3.1 Manipulation des données . . . . .	17
3.2 Architecture de l'application . . . . .	20
<b>4 Technologies</b>	<b>21</b>
4.1 Application web . . . . .	21
4.2 Languages . . . . .	21
4.3 Frameworks . . . . .	21
4.4 Logiciels . . . . .	22
4.5 Outils de développement . . . . .	22
<b>5 Analyse fonctionnelle</b>	<b>25</b>
5.1 Présentation de la solution proposée . . . . .	25
5.2 Guide de l'utilisateur . . . . .	25
5.3 Les grandes fonctionnalités . . . . .	28
<b>6 Difficultés rencontrées</b>	<b>31</b>
6.1 Difficultés techniques . . . . .	31
6.2 Difficultés liées au projet . . . . .	31
6.3 Difficultés humaines . . . . .	32
<b>7 Bilan des réalisations et des accomplissements</b>	<b>33</b>
7.1 Analyse critique des résultats obtenus . . . . .	33
7.2 Pistes d'amélioration et amélioration des performances . . . . .	33
<b>A Filtre de Kalman</b>	<b>45</b>
<b>B Moindres carrés</b>	<b>47</b>



# Glossaire et sigles utiles

---

**ENSG** École Nationale des Sciences Géographiques

**CICD** Intégration continue et Déploiement continu

**SQL** Structured Query Language

**FME** Feature Manipulation Engine

**API** Application Programming Interface

**Framework** Boite à outils de développement

**JS** JavaScript

**LaSTIG** Laboratoire en sciences et techniques de l'information géographique

**VTThree** Framework basé sur Three.js fourni par LaSTIG

**sprint** Période courte durant laquelle une tâche spécifique doit être réalisée

**TSI** Information Systems Technology

**US** User Story

**PO** Product Owner

**SM** Scrum Master

**feedback** retours

**device** Appareil GPS

**CSV** Comma Separated Values



# Introduction

---

Le présent rapport porte sur le projet de fin d'année qui consiste en le développement d'une application web réalisée par une équipe de 4 étudiants en master/ingénieur de la filière TSI (technologie des systèmes d'information) de l'École Nationale des Sciences Géographiques (ENSG), encadrés par María Jesús Lobo et Jacques Gautier. L'application est intitulée "TrailLove76200".

Le sujet de ce projet est la visualisation des trajectoires de courses à pied, avec comme objectif la mise en place d'une application web permettant de représenter l'évolution de l'allure des participants en fonction de différents paramètres tels que le terrain, le moment de la course (jour, nuit), etc. Cette application sera développée en utilisant les technologies web modernes telles que JavaScript, Three.js et OpenLayers. Plus précisément, l'application sera utilisée pour visualiser les trajectoires de la course Oxfam Trailwalker de 2021 et offrir une analyse spatio-temporelle de ces trajectoires. Ce

rapport sera divisé en 7 chapitres :

- **Le premier chapitre** : Décrit le projet en détaillant le contexte du projet, la problématique qu'il traite, les besoins des encadrants et les cas d'usages avec les diagrammes correspondants ;
- **Le deuxième chapitre** : Concerne la réalisation et le suivi du projet, en utilisant une méthodologie Agile avec une gestion de projet en sprints, un planning prévisionnel, ainsi qu'une gestion des risques ;
- **Le troisième chapitre** : Parle de l'architecture du projet, avec une description des composants du Back-end, du Front-end et de l'API utilisée pour leur communication ;
- **Le quatrième chapitre** : Porte sur les technologies telles que les langages de programmation, les frameworks, les logiciels et les outils de développement tels que Git, CI/CD, les tests automatisés, Docker, les versions et les releases ;
- **Le cinquième chapitre** : Présente une analyse fonctionnelle de l'application, comprenant la solution proposée avec un guide utilisateur détaillant l'interface et les pages, ainsi que les grandes fonctionnalités telles que les différentes visualisations, ainsi que la position des équipes et les points de contrôle ;
- **Le sixième chapitre** : Décrit les différentes difficultés rencontrées pendant le projet, notamment les difficultés techniques, liées au projet et humaines, ainsi que les stratégies utilisées pour les surmonter ;
- **Le septième chapitre** : Consacré au bilan des réalisations et accomplissements du projet. Ce chapitre comprendra trois sections principales : un bilan du projet, une analyse critique des résultats obtenus, et des pistes d'amélioration et d'optimisation des performances.



# CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

---

## 1.1 Contexte

La confédération Oxfam est un organisme caritatif de portée mondiale, qui aspire à réduire la pauvreté dans le monde. Depuis plusieurs années déjà, Oxfam France organise des courses à pied à Dieppe et en Gironde. Les courses à Dieppe sont longues de 100km, s'étalent sur 2 jours, et accueillent des centaines d'équipes, ce qui permet une collecte de fonds importante.

De plus, le développement des technologies web modernes a permis de nouvelles perspectives pour l'analyse et la représentation des données géographiques. Dans ce contexte, le projet "TrailLove76200" a pour objectif la visualisation des trajectoires de courses à pied et la mise en place d'une application web permettant de représenter l'évolution de l'allure des participants en fonction de différents paramètres tels que le terrain, le moment de la course, etc. Plus spécifiquement, le projet vise à visualiser les trajectoires de la course Oxfam Trailwalker de 2021 et à offrir une analyse spatio-temporelle de ces trajectoires.

Le contexte du projet est donc l'exploration des données relevées lors de l'édition 2021 de la course Oxfam Trailwalker. L'objectif est d'améliorer la course en repérant les difficultés rencontrées par les participants et en fournissant des analyses plus détaillées des performances des coureurs. La problématique est donc de trouver un moyen efficace de visualiser ces données et d'offrir des outils d'analyse pour les organisateurs de la course et les chercheurs intéressés par les données collectées.

## 1.2 Problématique

La problématique de ce projet est de permettre une analyse spatio-temporelle des trajectoires de course à pied en utilisant les données recueillies lors de la course Oxfam Trailwalker de 2021. Cette analyse devra permettre d'identifier les difficultés rencontrées par les participants tout au long du parcours, en prenant en compte différents paramètres tels que le terrain, le moment de la course, etc.

L'objectif est donc de fournir aux organisateurs de la course et aux participants des informations précieuses pour améliorer la course et mieux se préparer pour les éditions futures. Cela implique la mise en place d'une application web efficace et conviviale qui permettra de visualiser les données de manière claire et précise.

## 1.3 Besoins

Les besoins du projet incluent le développement d'une application web performante qui permettra de représenter l'évolution de l'allure des participants de la course en fonction de différents paramètres. Cette application doit offrir une visualisation précise et adaptée des données, ainsi qu'une analyse spatio-temporelle des trajectoires. Elle doit être ergonomique et facile à utiliser pour permettre une prise en main rapide par les utilisateurs, tout en offrant une expérience utilisateur agréable et intuitive. Pour répondre à ces besoins, l'équipe de développement travaille en étroite collaboration avec les encadrants du projet pour proposer des solutions innovantes et efficaces.

## 1.4 Données

Les données que nos commanditaires nous ont fournit sont un CSV avec 692321 lignes avec des doublons. Avec les champs présentés dans la figure ci-dessous.

TimeStamp	Fix	Latitude	Longitude	Speed	Alt	HDP	Device	
03/07/2021 06:00	1	49.9247245788574	1.0810489654541	4.90000009536743	-0.100000001490116	1	3619	
03/07/2021 06:00	1	49.9263343811035	1.07226097583771		0	27.1000003814697	1	3627
03/07/2021 06:00	1	49.9368095397949	1.10885894298553	4.30000019073486	30.2000007629395	1	3632	
03/07/2021 06:00	1	49.9263725280762	1.07233500480652		0	12.8000001907349	1	3681
03/07/2021 06:00	1	49.9377059936523	1.1095370054245	4.90000009536743	16.7999992370605	1	3691	

Figure : Données fournies

### 1.4.1 Prétraitement avec FME

Le pretraitemet qu'on a effectué sur FME du fichier CSV consiste en plusieurs étapes :

- Tout d'abord, nous avons transformé les coordonnées de l'EPSG 4326 à l'EPSG 3857. Cela signifie que nous avons converti les coordonnées géographiques de longitude et latitude en coordonnées projetées. La projection cible 3857 est également connue sous le nom de Web Mercator, qui est couramment utilisée pour les applications Web cartographiques ;
- Ensuite, nous avons supprimé les enregistrements en double ce qui a fait environs 57228 lignes de moins dans notre base de données ;
- Enfin, la dernière étape de notre premier pretraitemet sur FME est la transformation du fichier CSV en une base de données PostgreSQL/PostGIS avec une table pour chaque device. Cela permettra de stocker les données de localisation de chaque device dans une table séparée pour une pré-analyse plus facile et une utilisation plus efficace des ressources.

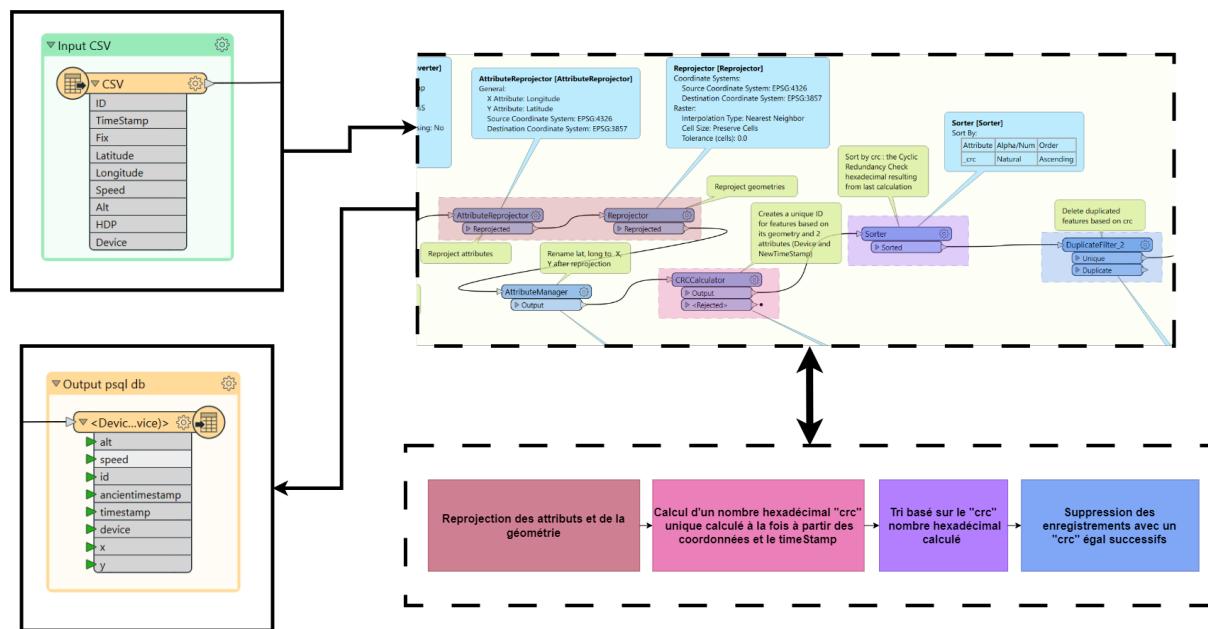


Figure : Schéma explicatif du workflow du prétraitement FME effectué

### 1.4.2 Prétraitement avec python

On a ensuite fait un prétraitement avec python pour moyenner les trajectoires et avoir des données assez cohérentes pour faire des comparaisons et analyses. Cette partie sera traitée en détails dans le chapitre 3.

index	x	y	speed	timestamp	interpolation_error	x_GPS	y_GPS
0	120558.7126364244	6432977.242621139	1.7116013143411266	2021-03-07 07:32:00	39.50124225607678	120597.49160030569	6432984.761936272
1	120580.09203932274	6432977.84723748	1.7116013143411266	2021-03-07 07:32:00	18.723188344375853	120597.49160030569	6432984.761936272
2	120601.4714422211	6432978.451853822	1.7116013143411266	2021-03-07 07:32:00	7.460313813247157	120597.49160030569	6432984.761936272
3	120622.85084511944	6432979.056470163	1.7116013143411266	2021-03-07 07:32:00	25.993146039634237	120597.49160030569	6432984.761936272
4	120643.06651490486	6432976.8028906435	1.7116013143411266	2021-03-07 07:32:00	46.264665221222444	120597.49160030569	6432984.761936272
5	120663.28218469028	6432974.549311125	1.7625127011129433	2021-03-07 07:33:00	39.202779724127396	120700.64045050666	6432962.665796775
6	120683.4978544757	6432972.295731605	1.7625127011129433	2021-03-07 07:33:00	19.662254283374505	120700.64045050666	6432962.665796775

Figure : Base de données après interpolation

## 1.5 Cas d'usages

Le cas d'usage principal de l'application est la visualisation des trajectoires de la course Oxfam Trailwalker de 2021. Les participants de cette course ont parcouru un itinéraire de 100 km à travers des terrains variés, de jour comme de nuit. L'application doit permettre de représenter l'évolution de l'allure des participants tout au long de cette course, en fonction de différents paramètres tels que la distance parcourue, l'heure de la journée ou la difficulté du terrain. Les organisateurs de la course pourront ainsi mieux comprendre les performances des participants et améliorer la conception de la course pour les prochaines éditions.

### 1.5.1 Les acteurs

Les acteurs sont les groupes locaux Oxfam France et partenaires.

### 1.5.2 Diagramme de cas d'usages et explication

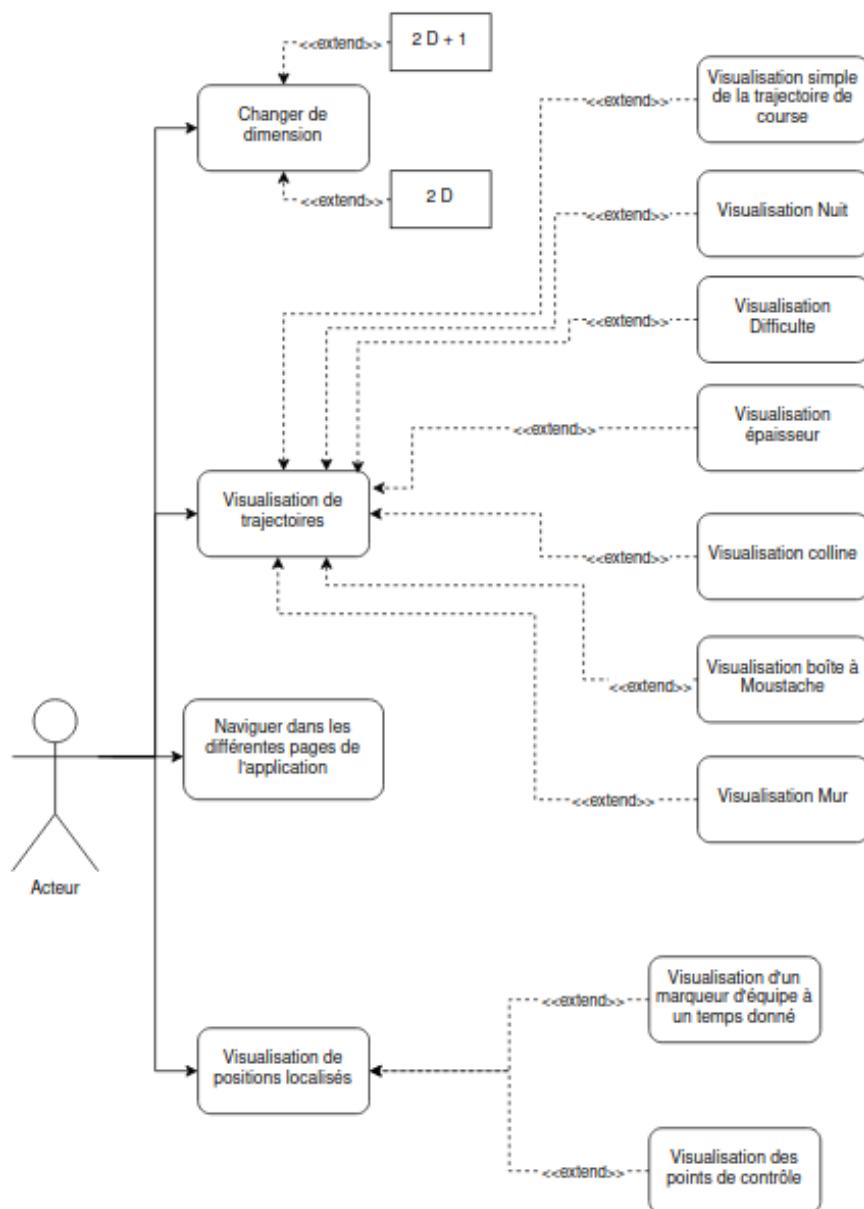


Figure : Diagramme de cas d'utilisation

# RÉALISATION ET SUIVI DU PROJET

CHAPITRE **2**

## 2.1 Méthodologie Agile

Pour ce projet, nous avons opté pour une approche de développement Agile, en particulier la méthode Scrum. Nous avons planifié des réunions hebdomadaires avec les commanditaires, qui se sont tenues chaque mercredi, pour discuter de l'avancement du projet et recevoir leur feedback sur notre travail et les perspectives d'avancement, particulièrement pour les visualisations.

Au sujet des rôles clés de la méthode Scrum : - Product Owner : Nous avons assisté en équipe aux réunions avec les commanditaires, ce qui a grandement facilité notre compréhension de leurs attentes. Étant donné que le sujet nécessitait beaucoup d'imagination, le fait d'être quatre nous a permis de nous entraider et de générer plus d'idées et perspectives pour répondre aux demandes des commanditaires.

- Scrum Master : Nous avons choisi de faire tourner le rôle de Scrum Master entre les 4 membres de l'équipe.

### 2.1.1 Planning prévisionnel

Le projet a duré 6 semaines. Ainsi nous avons découpé le travail sur 6 sprints organisés comme suit :

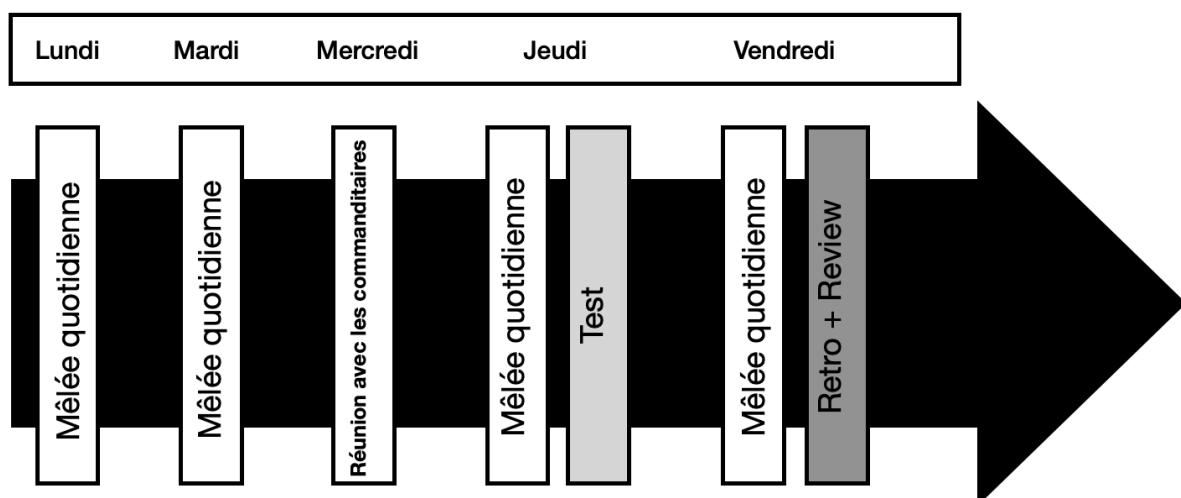


Figure : Sprint planning

## 14 Réalisation et suivi du projet

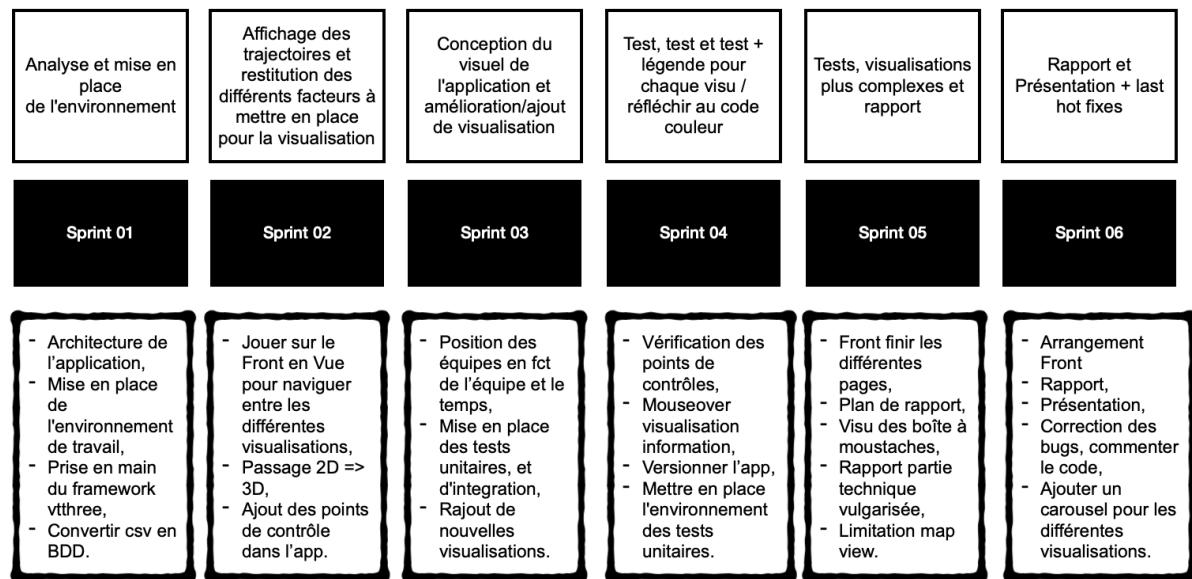


Figure : sprint détaillé

### 2.1.2 Gestion de projet en Sprints

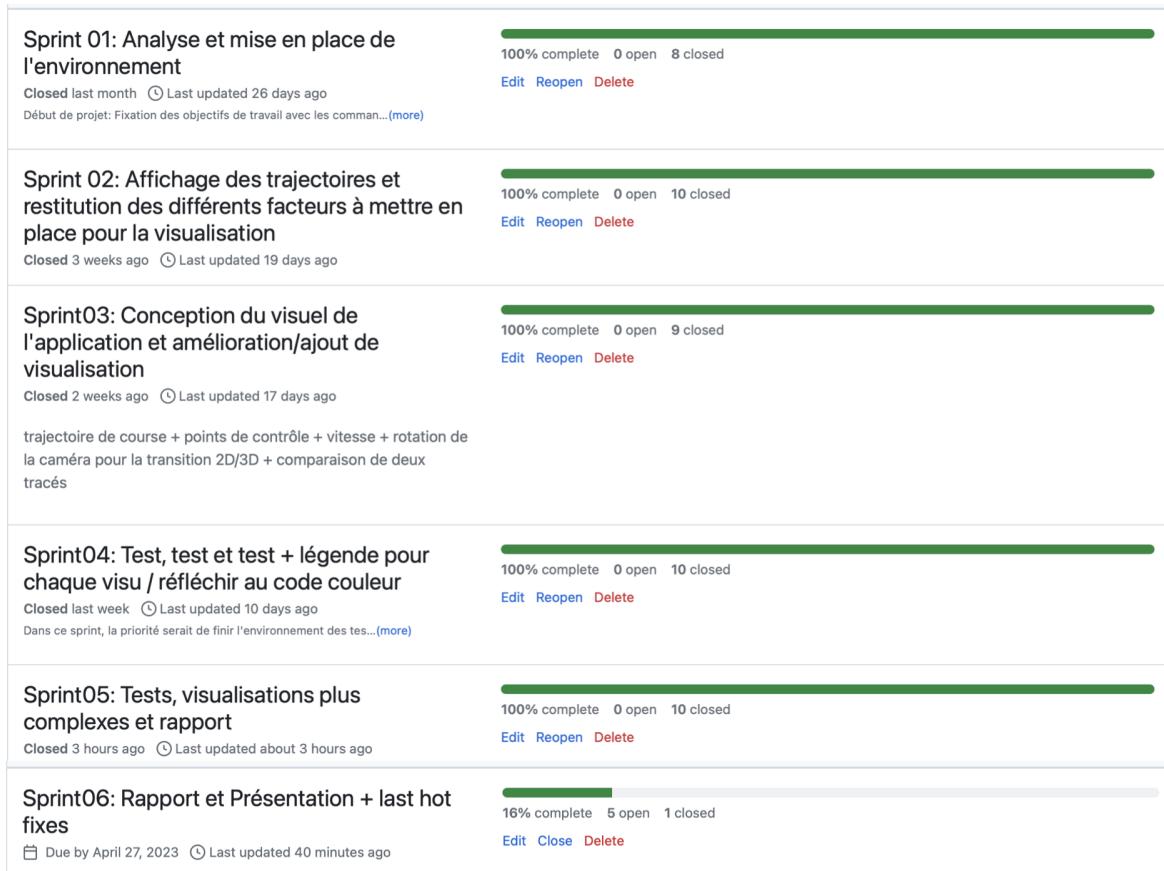


Figure : Sprints contenu

## 2.2 Gestion des risques

Lors d'un projet, il est important d'identifier les différents risques, et d'en déterminer l'importance, pour pouvoir les anticiper, et les gérer au mieux. Pour notre projet, nous sommes arrivés à la matrice

des risques suivante :

Matrice des Risques						
Très Élevée						
Élevée			R4	R3		
Modérée			R2	R1		
Faible	R5	R6				
Négligeable						
Probabilité	Rare	Peu probable	Modérée	Probable	Très Probable	

*R1 : Manque de temps*  
*R2 : Alternance entre présentiel et distanciel*  
*R3 : Manque de compréhension*  
*R4 : Maîtrise des Technologies*  
*R5 : Manque de motivation*  
*R6 : Gestion de la méthode Agile*

Figure : Matrice des Risques

Nous avons identifié 4 principaux risques pour notre projet, et afin de les réduire voici ce que nous avons suggéré :

- R1 : De par nos expériences précédentes, nous doutions que nous allions manquer de temps. La solution trouvée fut de prioriser notre travail, et de mettre un point d'appui sur les tâches les plus pressantes.
- R2 : Afin de planifier efficacement le sprint, nous avons élaboré un calendrier définissant les jours de présence sur site et à distance pour chaque membre de l'équipe. Cette mesure nous a permis d'organiser le sprint de manière optimale en amont et ainsi pouvoir gérer le risque du distanciel. Les mélées quotidiennes ont aussi joué un grand rôle dans la maîtrise de ce risque.
- R3 : Pour pouvoir s'assurer de bien comprendre ce qui nous était demandé de faire, nous nous sommes mis d'accord avec nos commanditaires pour avoir des réunions hebdomadaires. Ils peuvent ainsi vérifier l'avancement du projet et émettre des suggestions et des nouvelles demandes.
- R4 : Nous avons alloué énormément de temps sur les premiers sprints sur la maîtrise des frameworks telles que VTThree et Three.js. Nous avons attribué les tâches en fonction des compétences et des préférences de chacun. Nous avons souvent travaillé en binômes afin d'avoir plusieurs points de vue et pour pouvoir prendre du recul.



# ETUDE TECHNIQUE

## 3.1 Manipulation des données

### 3.1.1 Présentation des données initiales

Nos commanditaires nous ont fournis des données GPS. Elles étaient sous la forme d'un gigantesque tableau CSV, composé de plusieurs colonnes :

- le numéro du device (*appareil*),
- le temps de l'acquisition,
- les coordonnées acquises,
- la vitesse instantanée acquise,
- et d'autres informations telles que l'altitude acquise.

L'utilisation telle quelle de ces données n'était pas envisageable, nous avons donc dû les traiter

### 3.1.2 Traitements réalisés

#### Séparation par Device

La première étape du traitement est de séparer les lignes selon le device. Ainsi, nous sommes en mesure de distinguer les équipes. Une trajectoire est alors définie son équipe, les temps d'acquisitions, et les coordonnées de sa table.

#### Modification du système de coordonnées

Les coordonnées des points acquis étaient dans un système de coordonnées qui s'adaptait mal aux technologies que nous utilisons. Nous avons donc utilisé le logiciel FME pour le changer de Latitude/Longitude vers Web Mercator.

#### Moyennage

La précision des données GPS était vraiment très mauvaise. Pour contrebalancer le bruit important des coordonnées, nous avons réalisé une moyenne glissante sur le temps, ce qui lisse bien mieux les données.

De plus, les autres colonnes d'acquisitions, comme la vitesse instantanée ou l'altitude instantanée, étaient elles aussi difficiles à utiliser. Nous avons fait le choix de les oublier, au profit d'une nouvelle vitesse, calculée sur la moyenne glissante susmentionnée.

#### Trajectoire de référence

Nous étions alors en possession d'autant de trajectoires que de devices. Cela rend la tâche de comparer des trajectoires très compliquée.

Nous avons donc choisi de rapporter toutes nos trajectoires sur une seule et même trajectoire de référence. Cette dernière est une trajectoire moyennée comme décrits précédemment, et qui suis à la lettre la trajectoire idéale de la course.

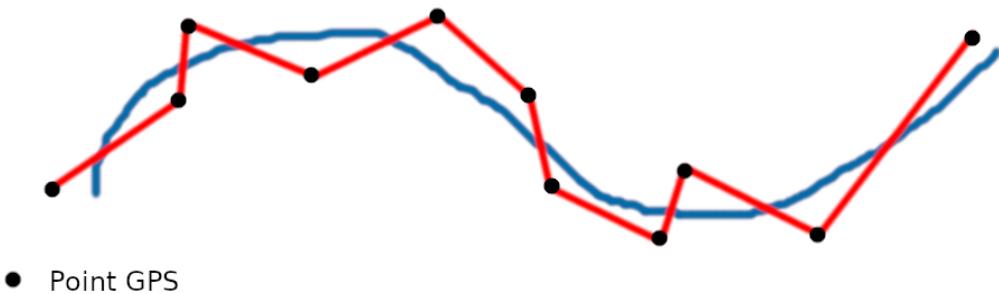
De plus, afin d'augmenter la répartition spatiale de la trajectoire de référence, nous avons augmenté artificiellement le nombre de points aux endroits nécessaires.

### **3.1.3 Interpolation**

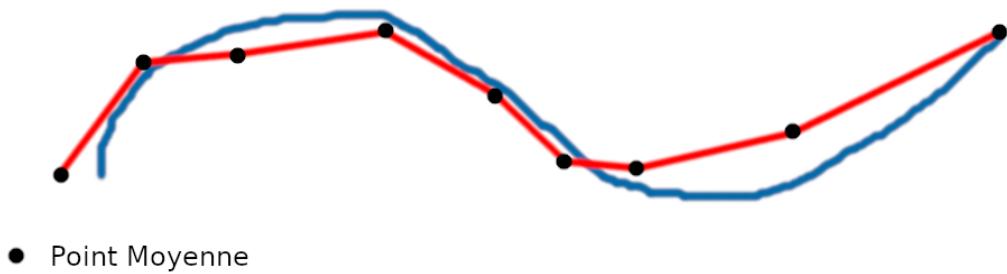
Il ne reste plus qu'à interpoler les trajectoires moyennées des équipes sur la trajectoire de référence. La stratégie du plus proche voisin a été utilisée car elle est simple à mettre en place et relativement efficace. De plus, cette méthode a le mérite d'analyser la ressemblance entre les trajectoires et la référence. Nous avons ainsi pu éliminer toutes celles qui étaient trop éloignées de la course.

### Trajectoire "Reelle" Inconnue

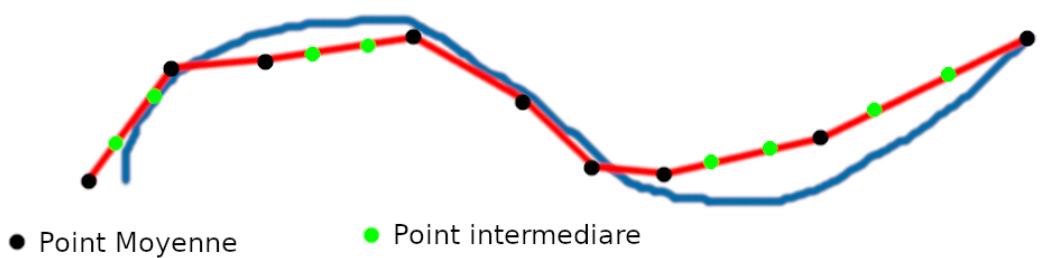
Donnees Initiales



Moyennage

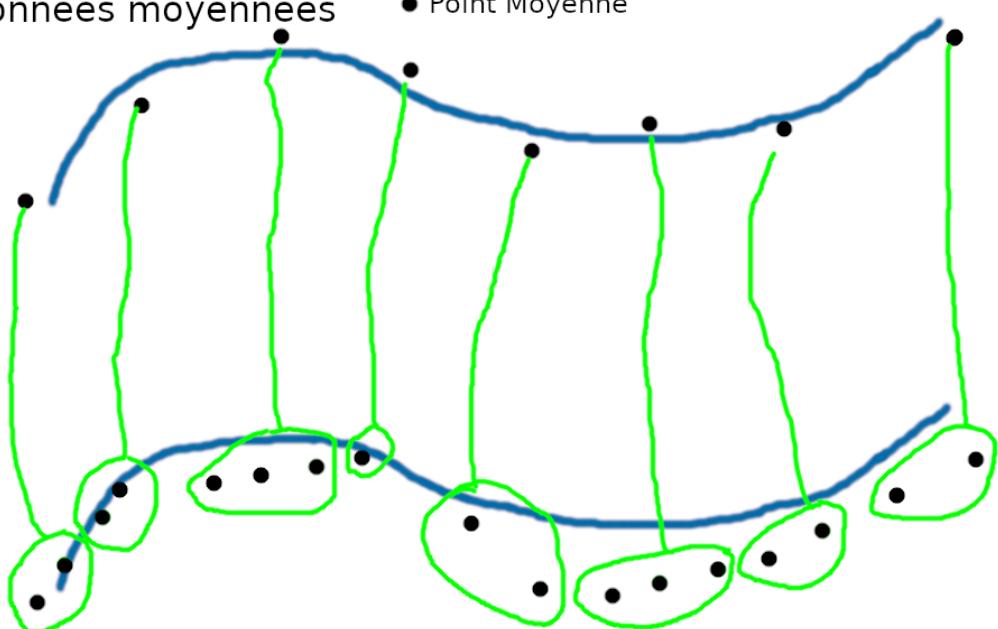


Trajectoire de reference



Donnees moyennees

● Point Moyenne



Reference

Figure : Schéma de la méthodologie de l'interpolation

### 3.2 Architecture de l'application

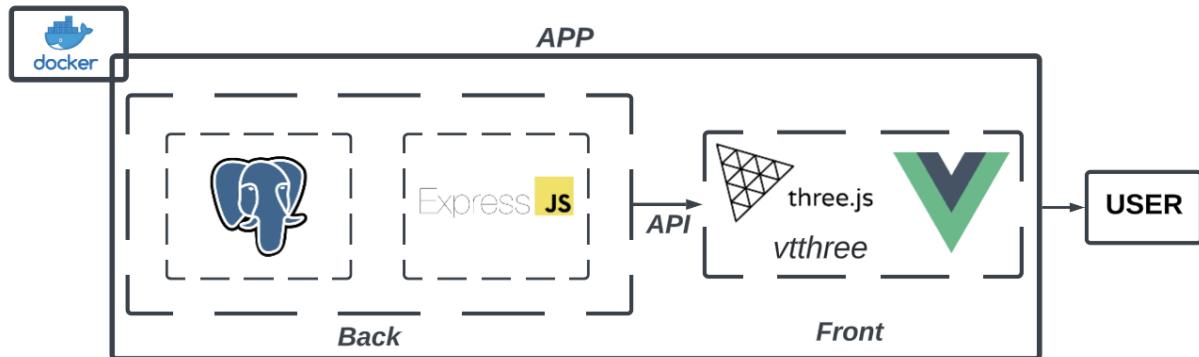


Figure : Diagramme de contexte

Ce diagramme de contexte représente l'environnement dans lequel l'application web opère.

Il montre les deux composants principaux de l'architecture de l'application, côté **Back-end** et **Front-end** avec l'API qui permet l'interaction entre ces éléments. Dans ce diagramme, l'utilisateur est à droite et interagit avec l'application via le **Front-end**.

**Back-end** : il s'agit de la partie de l'application qui traite les données et la logique métier. Elle communique avec la base de données pour stocker et récupérer les données. Les utilisateurs ne peuvent pas interagir directement avec cette partie de l'application. pgAdmin est utilisé pour la gestion de la base de données, tandis qu'Express.js est utilisé pour le traitement des requêtes et la communication avec l'API.

**Front-end** : il s'agit de la partie de l'application qui est visible par les utilisateurs. Cette partie de l'application permet aux utilisateurs d'interagir avec l'application via une interface utilisateur. Les utilisateurs peuvent effectuer des actions telles que la visualisation de données à travers différentes visualisations. Vue.js est utilisé pour la partie présentation et three.js et vtthree pour la partie 3D.

Pour créer un environnement d'exécution isolé et éviter les différences dans l'environnement d'exécution entre les différentes machines que nous possédons, comme la version du système d'exploitation, les bibliothèques et les dépendances installées, nous avons utilisé des conteneurs pour exécuter notre application. Nous avons opté pour le build du Docker qui garantit l'exécution de manière cohérente de l'application sur différentes machines, indépendamment de l'environnement sous-jacent grâce à un Dockerfile.

# TECHNOLOGIES

---

## 4.1 Application web

L'un des avantages majeurs des applications web est leur accessibilité multiplateforme. Contrairement aux applications de bureau, les applications web ne sont pas développées pour un système d'exploitation spécifique tel que Windows ou macOS, ce qui permet à un plus grand nombre d'utilisateurs d'y accéder à partir de n'importe quel appareil disposant d'un navigateur web, que ce soit un ordinateur de bureau, un ordinateur portable, une tablette ou un smartphone. Cette portée élargie est l'une des principales raisons pour lesquelles nous avons choisi de développer une application web plutôt qu'une application de bureau.

En outre, les fonctionnalités dont notre application est dotée sont très bien supportées par une application web et donc notre plateforme ne souffrira pas de problèmes de performances.

## 4.2 Languages

Les langages utilisés dans la réalisation de notre application sont :

- Javascript (backend et frontend) : C'est un langage de programmation populaire pour le développement Web. Il a été choisi pour sa flexibilité, sa capacité à gérer les tâches asynchrones et son écosystème riche en outils et bibliothèques..
- Python (traitement des données) : Python est un langage de programmation populaire pour le traitement des données et l'analyse. Il a été choisi pour sa simplicité, sa syntaxe claire et ses bibliothèques pour le traitement des données.
- PostgreSQL extension PostGIS (base de données) : PostGIS est une extension de PostgreSQL qui permet de stocker et de traiter des données géospatiales. Il est donc parfait pour stocker les données de trajectoire des participants à la course.

## 4.3 Frameworks

Afin d'éviter de réinventer la roue, et pour gagner du temps, nous avons fait l'utilisation de frameworks JavaScript. Ce sont des outils développés par la communauté pour s'intégrer au sein d'une architecture web.

Voici une liste non-exhaustive des frameworks utilisés au sein de ce projet :

- Express.js (back-end) : Express.js est un framework Node.js minimaliste et flexible pour le développement d'applications Web et d'APIs. Il est facile à apprendre et permet un développement rapide d'applications Web robustes. Il a été choisi pour sa simplicité, sa flexibilité et sa rapidité ;
- Vue.js (front-end) : Vue.js est un framework JavaScript progressif et facile à apprendre pour la création d'interfaces utilisateur. Il est très flexible et facilement intégrable avec d'autres bibliothèques ou frameworks. Vue.js a été choisi pour le développement du front-end de notre application ;

- PrimeVue : Associé à Vue, cet outil permet d'avoir des composants personnalisables prêts à l'emploi ;
- Three.js (visualisation 3D) : Three.js est une bibliothèque JavaScript 3D légère qui permet la création de scènes, de graphiques et d'animations en 3D sur le Web. Dans TrailLove76200, Three.js est utilisé en conjonction avec VTTree du LASTIG pour créer des visualisations 3D du parcours de la course ;
- Jest : Jest est un framework de tests pour les applications JavaScript, y compris celles créées avec Express et Vue.

## 4.4 Logiciels

- ArcGIS Pro (géocodage des points de contrôle) : ArcGIS Pro est un logiciel de cartographie et d'analyse géospatiale. Il a été choisi pour sa capacité à géocoder des adresses et des coordonnées GPS pour les points de contrôle ;
- FME (phase 1 du prétraitement des données) : FME est un logiciel de transformation de données qui permet de convertir des fichiers dans différents formats. Il a été choisi pour sa capacité à transformer les données de la course en une base de données cohérente après avoir reprojeté les données dans le système de coordonnées requis.

## 4.5 Outils de développement

### 4.5.1 Git

Git est un système de gestion de version populaire pour le développement logiciel collaboratif. Il a été choisi pour faciliter la collaboration entre les développeurs. Git est utilisé en conjonction avec GitHub pour le développement collaboratif et le contrôle de version du code.

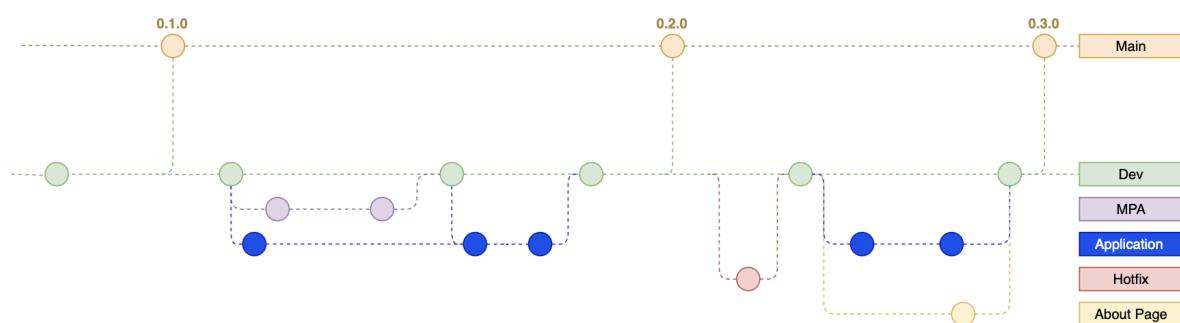


Figure : Illustration de notre git flow

### 4.5.2 Docker

Docker est une plate-forme logicielle qui permet de créer, tester et déployer des applications dans des conteneurs. Elle a été choisie pour simplifier le déploiement et garantir la portabilité du code. En effet, Docker permet d'obtenir des environnements sains et réplicables. On s'assure ainsi que l'application se comporte de la même manière sur tous les appareils.

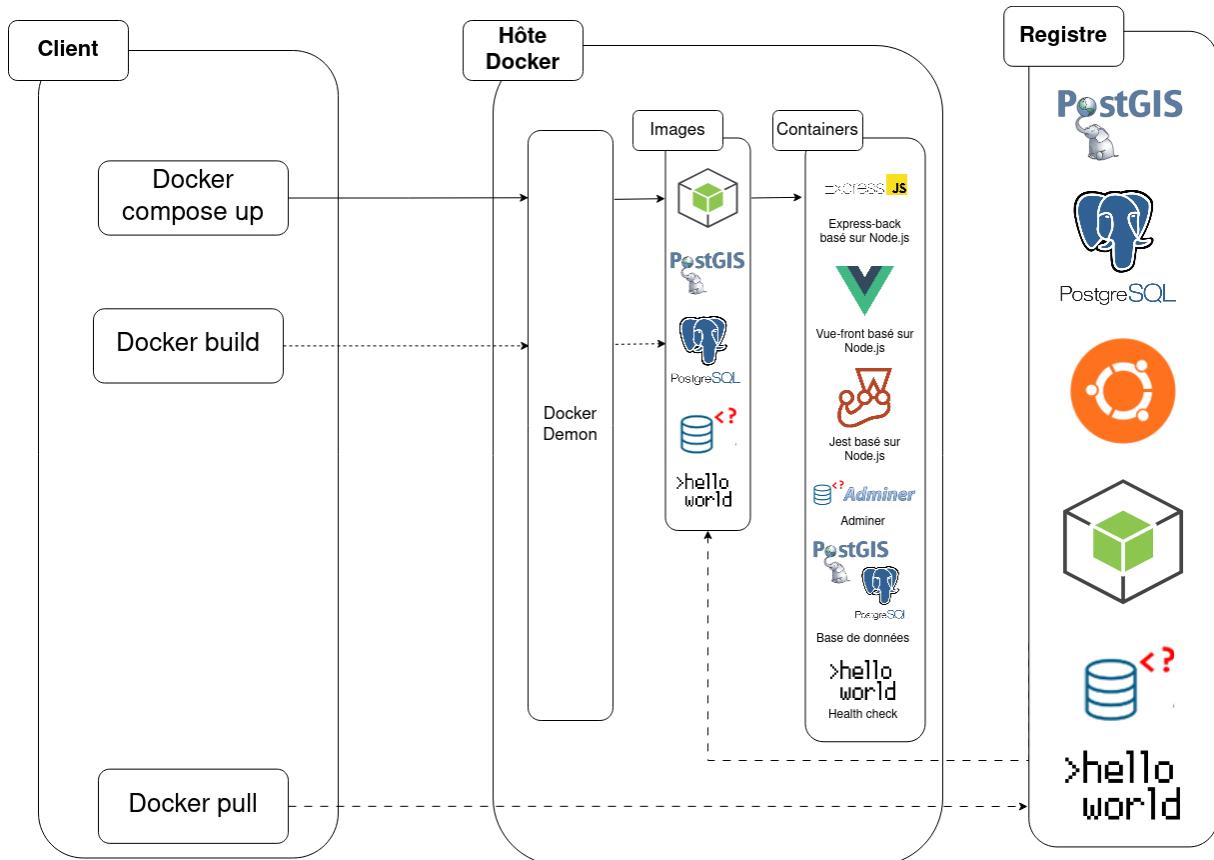


Figure : Illustration de notre architecture de composants docker

### 4.5.3 Tests automatisés

Les tests automatisés sont essentiels pour garantir la qualité du code. Nous avons implementé deux types de tests :

- Les test unitaires permettent de vérifier le bon comportement du code de manière très précise. Chaque test s'intéresse à une fonction et s'assure qu'elle réalise la tâche attendue.
- Nous avons mis en place des tests d'intégration, qui sont présents pour valider l'imbrication des différents composant de l'application. Ces tests sont plus larges que les tests unitaires, et peuvent aussi s'intéresser aux fonctionnalité du logiciel.

Docker a été utilisé pour créer un environnement de test isolé. Les tests (unitaire et d'intégration) vont être lancés à chaque lancement des conteneurs. Dans le cas où un des tests ne serait pas validé, le lancement de l'application plante. Nous avons choisi le bon fonctionnement systémique du logiciel aux dépends de la disponibilité.

*Il est important de noter que nous n'avons pas réussi, malgré nos efforts, à tester les parties d'interface utilisateur côté client.*

### 4.5.4 CI / CD

Le CI/CD (Continuous Integration/Continuous Delivery) est une pratique de développement logiciel visant à automatiser les étapes de construction, de test et de déploiement des applications. Dans notre projet, on a utilisé GitHub Actions, qui est une solution permettant d'implémenter cette pratique en proposant un système d'automatisation basé sur des workflows. Ces workflows peuvent être configurés pour déclencher automatiquement les étapes de CI avant qu'un code ne soit poussé sur la branche principale, et après l'intégration du code pour s'assurer qu'il n'endommage pas le fonctionnement de l'application.

Si nous avons implémenté un workflow pour intégrer continuellement notre application et vérifier son intégrité durant la phase de développement, nous n'avons pas mis en place de Continuous Delivery.

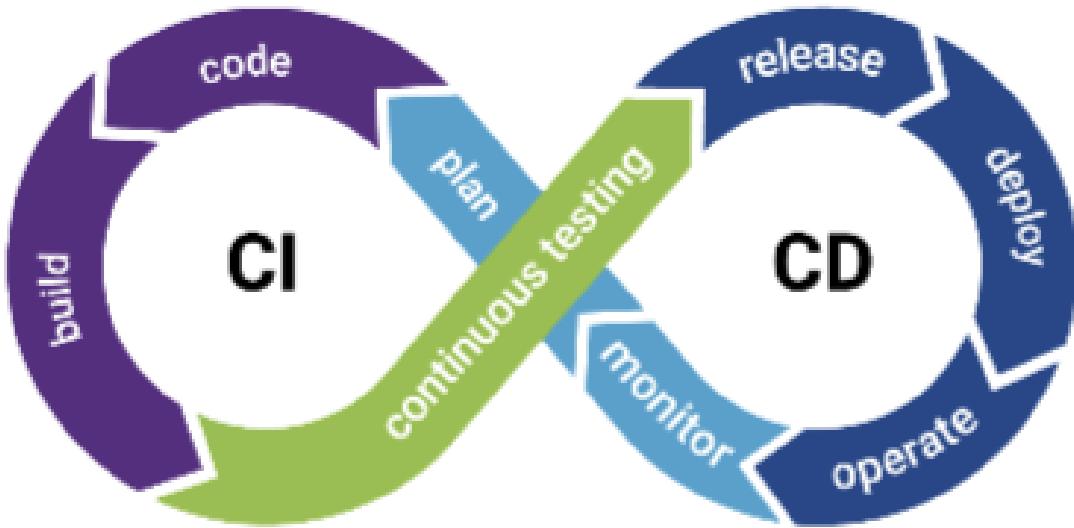


Figure : CI-CD 1

#### 4.5.5 Versions / Releases

l'application a été développée en trois versions 0.1.0, 0.2.0 et 0.3.0. Chacune apportant des améliorations et des nouvelles fonctionnalités.

# ANALYSE FONCTIONNELLE

---

Dans cette partie, nous détaillerons les principales fonctionnalités de l'application ainsi qu'un manuel d'utilisation développant le fonctionnement de chacune d'entre elles.

## 5.1 Présentation de la solution proposée

L'interface utilisateur de l'application est simple et conviviale, ce qui permet aux utilisateurs de naviguer facilement entre les différentes pages et fonctionnalités. La page d'accueil comprend une barre de menu avec des boutons pour accéder à l'À propos, au site officiel d'Oxfam, à la base de données et aux membres de l'équipe, ainsi qu'un bouton central pour accéder à la page principale de l'application.

La page principale de l'application affiche la carte de la zone de la course avec différentes visualisations et options disponibles. Les visualisations comprennent la visualisation simple, la visualisation épaisseur, la visualisation colline, la visualisation mur, la visualisation nuit, la visualisation moustache et la visualisation difficulté. Chaque visualisation permet aux utilisateurs d'analyser les données de la course sous différents angles.

En outre, l'application permet aux utilisateurs d'afficher les positions des équipes et les points de contrôle sur la carte. Les utilisateurs peuvent également afficher les marqueurs d'équipe pour un temps donné.

## 5.2 Guide de l'utilisateur

Dans notre guide utilisateur nous allons présenter les différentes pages et différentes fonctionnalités de notre application.

### 5.2.1 Interface et pages

La première page à laquelle on a accès est Home, elle est composée d'un menu barre en haut avec un À propos, redirection vers le site d'oxfam, la base de données, notre team et le dépôt github de notre application. Au centre de la page home un bref carroussel qui nous donne un avant goût des différentes visualisations et un bouton qui mène à la page principale de l'application.

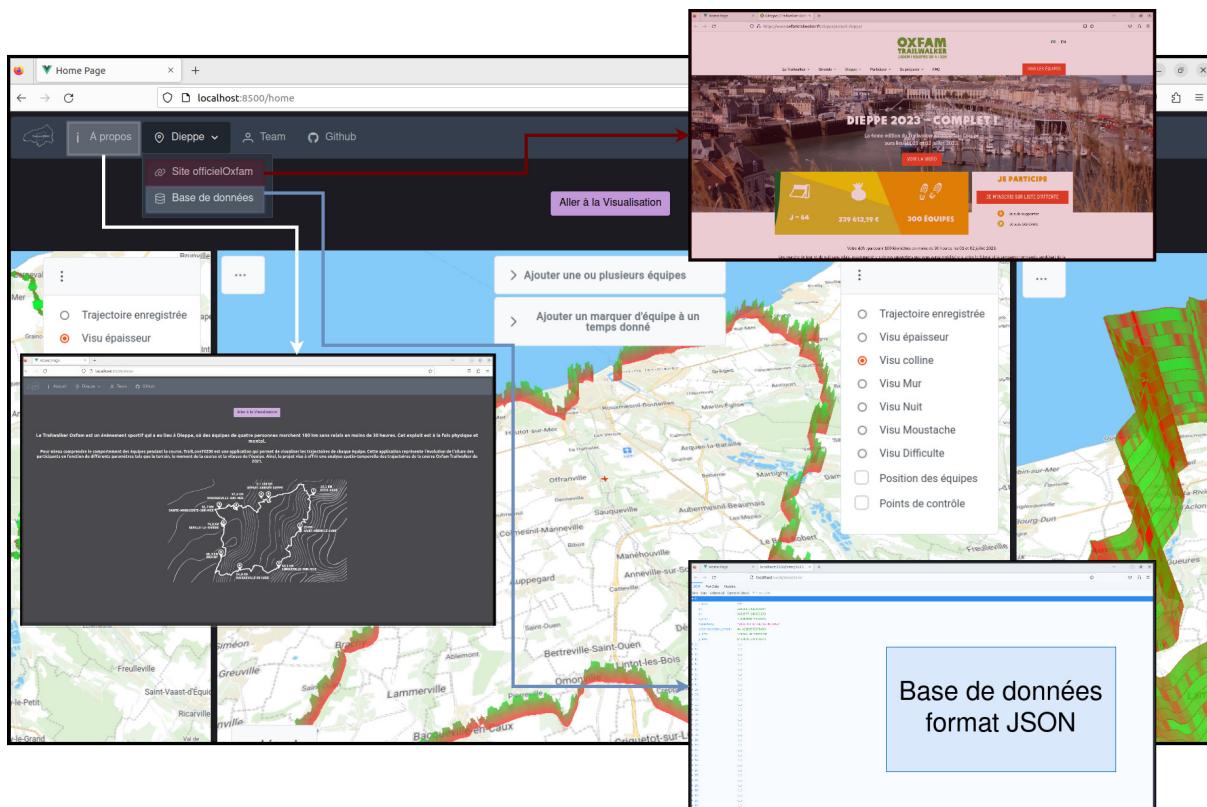


Figure : page home et redirection vers à propos, base de données et site d'oxfam

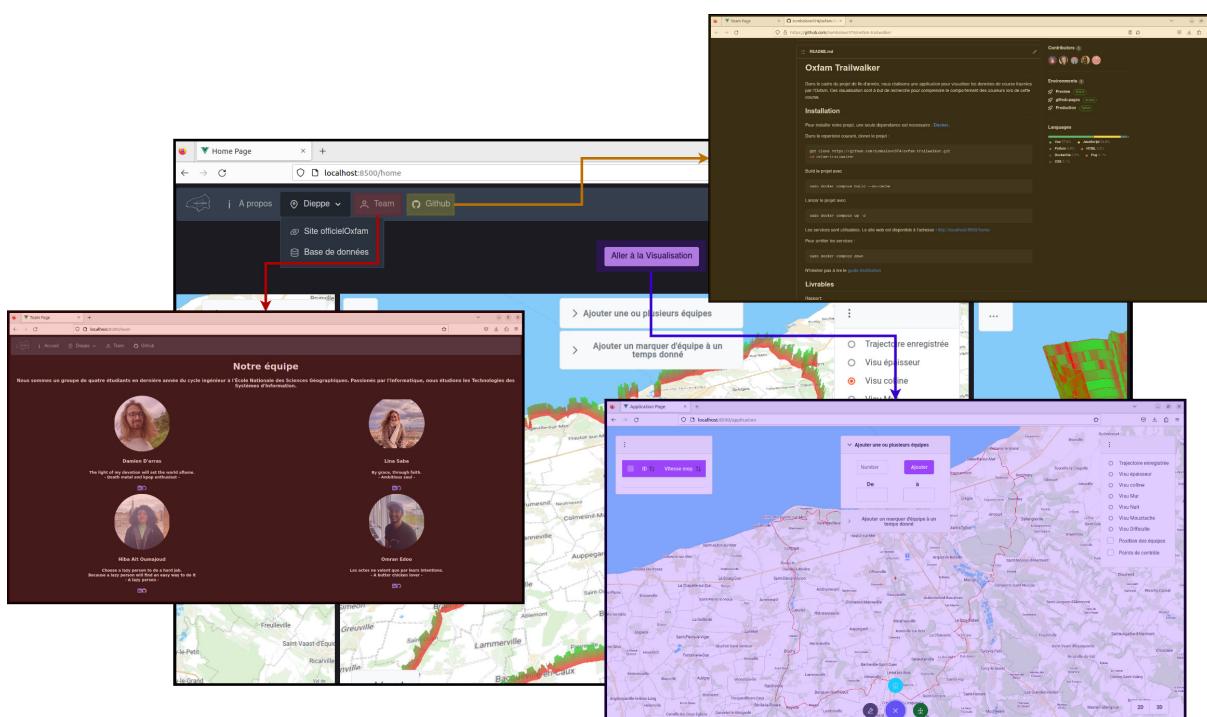


Figure : page home et redirection vers notre team, le dépôt github de notre application et la page principale

La page principale de l'application comprend plusieurs visualisations de trajectoires ou de points localisés exposés dans le schéma ci-dessous :

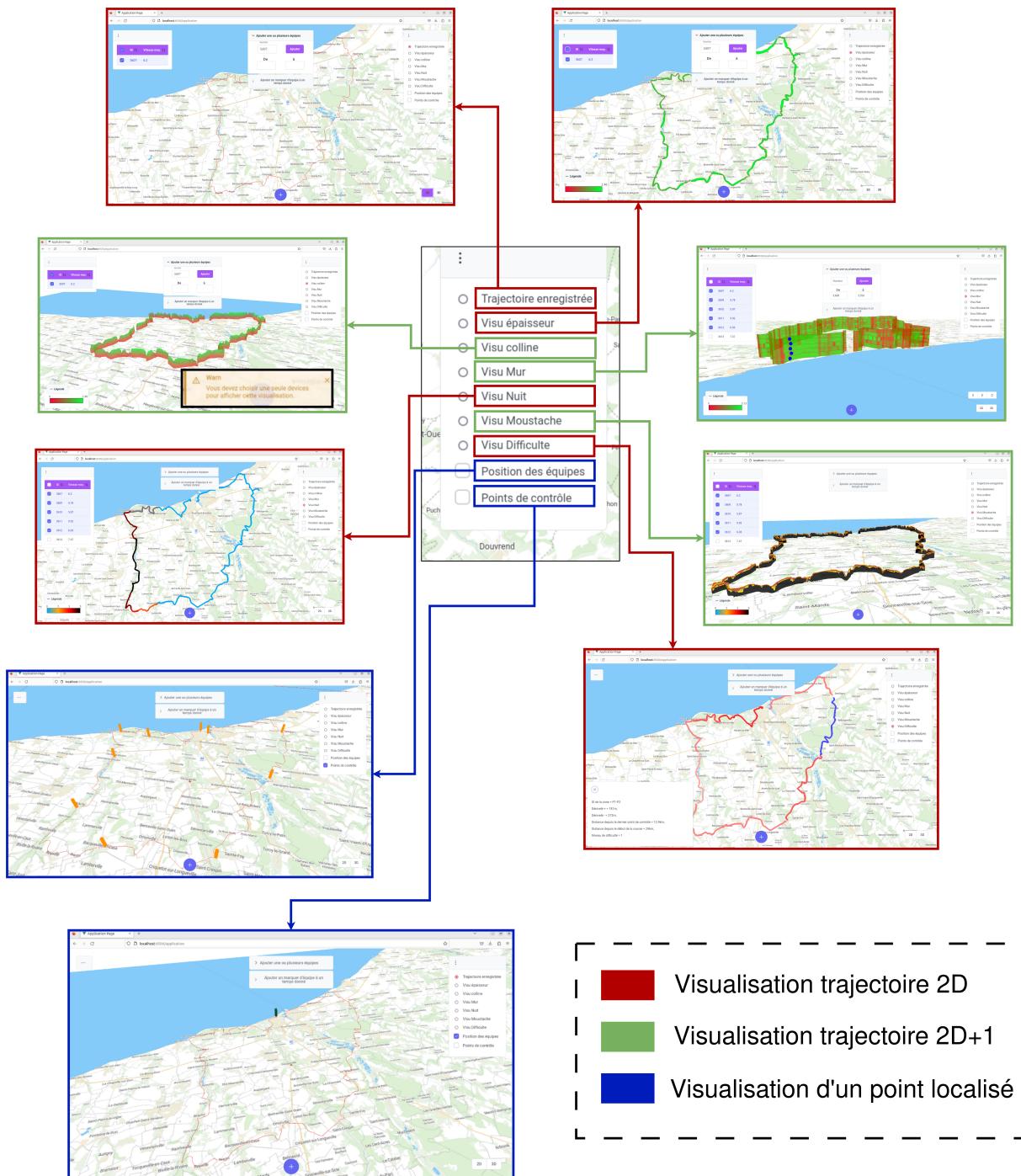


Figure : La page principale de l'application et les différentes visualisations

Et finalement, la page principale de l'application comprend trois autres boutons, 2 d'entre eux éclairent le fonctionnement de l'application et le dernier recentre la carte d'un seul clic. Ces boutons sont exposés dans le schéma ci-dessous :

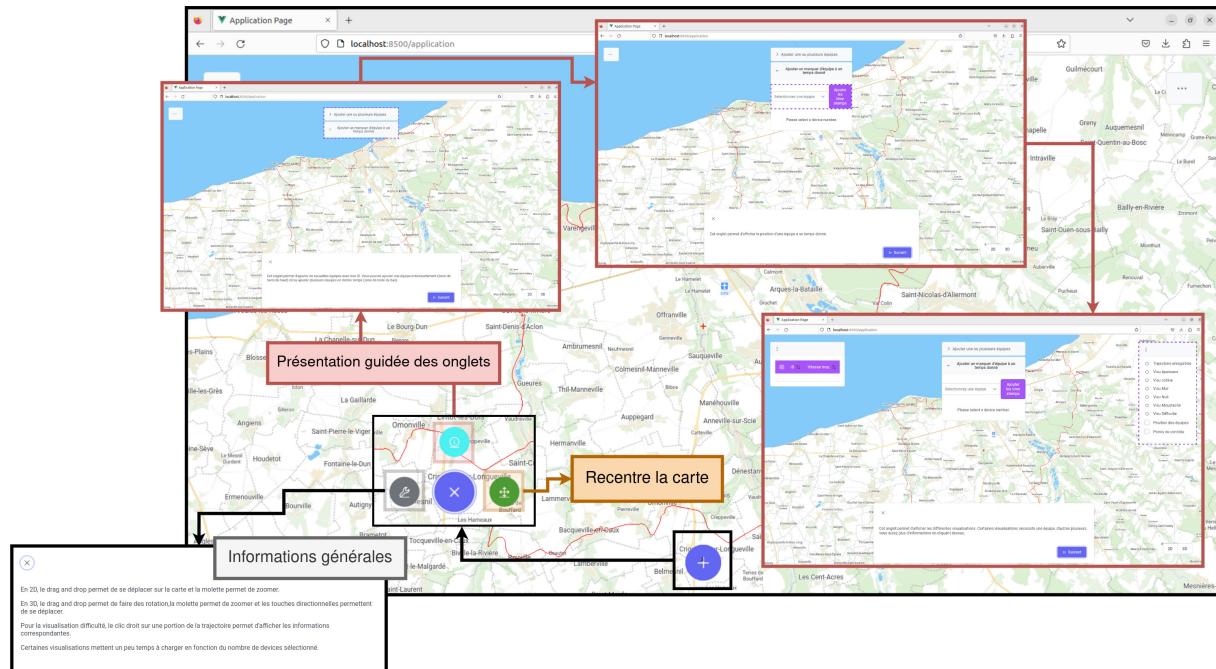


Figure : La page principale de l'application et les différents boutons en bas de page

## 5.3 Les grandes fonctionnalités

### 5.3.1 Visualisation simple

Titre	Visualisation simple
Description	Afficher la trajectoire mesurée par le GPS.
Conditions	Sélection d'au moins un device
Remarques	Cette trajectoire peut se différencier légèrement à la trajectoire interpolée utilisée pour les différentes visualisations

### 5.3.2 Visualisation épaisseur

Titre	Visualisation épaisseur
Description	Cette visualisation permet de voir la vitesse des coureurs sur le parcours, plus la ligne est épaisse plus le coureur est rapide. Le couleur de la ligne change également en fonction de la vitesse.
Conditions	Sélection d'un unique device
Remarques	Aucune

### 5.3.3 Visualisation moustache

Titre	Visualisation boîte à Moustache
Description	Visualisation 2D+1 représentant des boîtes à moustache en continue. Le min, le max et les trois quartiles sont représentés.
Conditions	Sélection d'au moins un device, la visualisation prend son sens à partir de 5 devices (on voit ainsi bien le min, max et les quartiles en chaque point)
Remarques	En chaque point les valeurs de min, max et des quartiles sont recalculées sur tous les devices sélectionnés

### 5.3.4 Visualisation difficulté

Titre	Visualisation difficulté
Description	Permet de visualiser la difficulté du trajet en fonction de la vitesse de l'équipe entre deux points ainsi que divers information sur les portions de parcours
Conditions	Aucune
Remarques	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Si l'on sélectionne un device on obtient en plus la vitesse moyenne de l'équipe sur la portion du parcours sélectionnée</li> <li>- Le niveau de difficulté affiché dépend principalement de la dénivelé et de la distance</li> </ul>

### 5.3.5 Visualisation du Mur

Titre	Visualisation mur
Description	Visualisation 2D+1 qui permet de comparer les vitesses des différentes équipes en fonction de la couleur. Les murs sont superposés, chaque mur représente une équipe. Une simulation en temps réelle est modélisée par des sphères qui bougent le long de la trajectoire.
Conditions	Sélection d'au moins un device.
Remarques	Parmi les équipes sélectionnées on choisit l'équipe qui a la vitesse moyenne la plus moyenne afin de calculer ses quartiles et de normaliser les couleurs sur chaque quartiles.

### 5.3.6 Visualisation de la nuit

Titre	Visualisation nuit
Description	Cette visualisation permet de voir les portions du parcours sur lesquelles les coureurs se déplacent la nuit. Plus il y a d'équipe qui sont sur une même portion la nuit plus la couleur de la trajectoire est rouge puis noir.
Conditions	Sélection d'au moins un device.
Remarques	Plus le nombre de devices sélectionné est grand plus la visualisation a du sens.



# DIFFICULTÉES RENCONTRÉES

Pendant le projet, nous avons fait face a des difficultees d'origines diverses. Voici lesquelles et comment nous les avons surmontees.

## 6.1 Difficultés techniques

### 6.1.1 Savoir-Faire

Nous avons eu des difficultés mineures sur de nombreux aspects techniques de notre projet, tels que l'utilisation de Vue.js ou les workflow de GitHub Actions. Mais après quelques heures d'apprentissage, l'essentiel de la compréhension a été acquise.

Toutefois, d'autres technologies nous ont posé plus d'opposition. En particulier, Docker. En effet, Docker sert de cadre au projet, et lie toutes les parties ensembles. Malgré un appui important de la formation sur cette technologie, sa logique particulière nous a donné du fil à retordre.

De plus, nos commanditaires nous ont recommandé l'utilisation du framework VTTThree pour l'insertion de cartes dans une scène web 3D. Si son utilisation simple est très abordable, réaliser des tâches plus complexes s'est avéré être assez délicat.

Cependant, nous avons réussi à maîtriser ces outils en réalisant des expériences, et une lecture particulièrement attentive de la documentation. Plutôt que de chercher à tout comprendre d'un coup, nous avons préféré analyser une notion à la fois. Comme l'a écrit La Fontaine : *Rien ne sert de courir; il faut partir à point.*

### 6.1.2 Tests

Néanmoins, nous avons été confrontés à un obstacle important : les tests. En particulier, tester l'interface utilisateur, créée avec Vue.js, n'est toujours pas couverte de tests. Nous avons tenté différentes méthodes pour résoudre ce problème : travailler à plusieurs, changer de framework de test, essayer à plusieurs reprises, modifier la configuration, ... Mais aucun procédé n'a abouti. Nous avons perdu beaucoup de temps sur ce point, qui nous semblait important, mais sans succès.

Nous avons tout de même pu implementer tous les autres tests, afin de vérifier le bon fonctionnement d'une bonne partie de notre code et de notre architecture.

## 6.2 Difficultés liées au projet

### 6.2.1 Autonomie

Notre projet s'inscrit dans une démarche de recherche. De ce fait, nous avions beaucoup de liberté sur de nombreux points. Nous avions carte blanche (ou presque) sur les détails techniques, bien sur, mais aussi sur les aspects esthétiques et cartographiques. C'est pourquoi le choix des couleurs, des visualisations à réaliser, ou encore la manière de se déplacer sur la carte, ont été sources de nombreux questionnements.

### 6.2.2 Fixation d'objectifs

Afin de ne pas se perdre dans les nombreuses possibilités qui s'offraient à nous, nous avons mis un point d'appui sur les objectifs des sprints. Avec une organisation efficace à base d'issues, nous avons pu nous recentrer sur l'essentiel et être efficents.

## 6.3 Difficultés humaines

### 6.3.1 Divergences de compréhension

Il était courant que tous les membres du groupes ne comprennent pas les choses de la même façon. En particulier, sur les visualisations à réaliser, chacun comprenait les demandes de nos commanditaires de manière différente. Pour se mettre d'accord sur la démarche à suivre, nous avons choisi de reformuler nos compréhensions. On a pu alors trouver des compromis et des points communs, ce qui a permis de renforcer la visualisation concernée de toutes les bonnes idées du groupe.

### 6.3.2 Travail à distance

Durant la période du projet, certains membres du groupe se sont mis en télétravail. De plus, les réunions avec nos commanditaires étaient elles aussi réalisées à distance. Cette manière de travailler peut engendrer des problèmes de communication : il est compliqué d'obtenir et de donner de l'aide, la répartition du travail est plus ardue et l'ambiance est moins sympathique. Tous ces points peuvent gravement nuire à la progression du projet.

Pour pouvoir se prémunir des effets délétères du travail à distance, nous avons mis en place des réunions fréquentes avec tous les membres du groupe. De plus, l'utilisation importante de messageries instantanées nous a permis de s'organiser efficacement :



Figure : Shéma difficultés rencontrées

# BILAN DES RÉALISATIONS ET DES ACCOMPLISSEMENTS

CHAPITRE **7**

## 7.1 Analyse critique des résultats obtenus

Nous avons réussi notre mission car notre application fonctionne et répond au besoin. Elle propose plusieurs visualisations qui font varier de multiple paramètres en 2D et en 2D+1. Notre application est simple d'utilisation, performante, ergonomique.

## 7.2 Pistes d'amélioration et amélioration des performances

### 7.2.1 Navigation

En 2D, nous avons rencontré des problèmes de fluidité avec la solution de navigation utilisant le drag and drop et le zoom molette en raison du recharge de la carte à chaque relâchement de la souris. Ce problème est survenu lorsque nous avons utilisé la carte open layer en tant qu'objet ThreeJS. Par défaut, la carte ne se rechargeait pas, ce qui entraînait une mauvaise résolution lorsque nous zoomions trop. Bien que le comportement du drag and drop provenant de la classe "OrbitControl" de ThreeJS était fluide, l'inconvénient était que l'utilisateur pouvait rapidement atteindre les limites extérieures de la carte.

Pour résoudre ces deux problèmes, nous avons décidé de recharger la carte à chaque déplacement et zoom. Cependant, nous avons choisi de conserver le comportement par défaut en 3D, car la navigation y est primordiale. Néanmoins, nous n'avons pas trouvé de solution réconciliant les deux problèmes.

### 7.2.2 Diversification des facteurs

Actuellement, la visualisation épaisseur modifie l'épaisseur de la trajectoire ainsi que sa couleur en fonction de la vitesse de l'équipe sélectionnée. De même, la visualisation montagne fait varier la hauteur et la couleur en fonction de la vitesse. Bien que cette approche permette de visualiser la vitesse, elle ne prend en compte qu'un seul facteur de la course.

Il serait plus intéressant d'utiliser l'un des paramètres visuels, tel que la couleur, pour représenter un autre facteur de la course. Par exemple, la couleur pourrait varier en fonction du dénivelé ou de la météo, permettant ainsi de représenter plusieurs facteurs en même temps et de comparer leur influence les uns par rapport aux autres. Ces facteurs peuvent être déterminants dans une course et il serait donc intéressant de les inclure dans certaines visualisations.

### 7.2.3 Affichages des données

Il y aurait un intérêt à améliorer l'affichage des informations. Pour chaque visualisation, nous pourrions permettre l'affichage des données concernées en cliquant sur un point de la trajectoire ou simplement en déplaçant le curseur de la souris au-dessus.

En ce qui concerne la visualisation "moustache", il serait particulièrement intéressant d'afficher le nom des dispositifs correspondant aux maxima, aux minima et aux quartiles, ainsi que le classement

des équipes en fonction de leur vitesse à chaque point. Cela permettrait aux utilisateurs d'obtenir une compréhension plus approfondie des données présentées et de faciliter leur analyse.

#### 7.2.4 Paramétrisation des visualisation

Il serait possible d'améliorer la visualisation mur en proposant davantage de paramètres pour la simulation. Par exemple, nous pourrions offrir la possibilité de régler la portion de la course sur laquelle on souhaite simuler la course. Cela permettrait aux utilisateurs de cibler leur analyse sur une partie spécifique de la course.

De plus, il serait intéressant d'ajouter la possibilité de lancer la simulation sur toutes les visualisations, pas seulement sur la visualisation mur. Cela offrirait une expérience utilisateur cohérente et permettrait aux utilisateurs de comparer les résultats des simulations à travers différentes visualisations.

#### 7.2.5 Autres visualisations

Nous avions envisagé d'explorer d'autres visualisations, telles qu'un cube spatio-temporel dont l'altitude représente le temps. Cette visualisation serait une autre manière de comparer les vitesses des équipes. Toutefois, il existe un risque de confusion potentielle car chaque équipe suit la même trajectoire, ce qui pourrait amener les lignes à se croiser et ainsi diminuer la clarté de la visualisation.

En outre, nous avons eu l'idée de réaliser une simulation globale de la course en 3D, en incluant des paramètres tels que la dénivelé, la nuit, la météo, le type de terrain, etc. Cela permettrait aux utilisateurs de visualiser la course dans son ensemble et d'appréhender les différents facteurs qui peuvent influencer la performance des équipes. Cette simulation serait un complément intéressant aux autres visualisations proposées et permettrait d'avoir une vision globale de la course.

#### 7.2.6 Analyse des résultats

Bien que cela ne nous ait pas été explicitement demandé, nous aurions pu contribuer à faciliter l'analyse des résultats des différentes visualisations.

# Bibliographie

---

- [1] Balhorn R et AL. "Frequency Stabilization of Internal-Mirror Helium-Neon Lasers". In : *Applied Optics* (1972), p. 742-744.
- [2] Niebauer T.M. et AL. "A new génération of absolute gravimeters". In : *Metrologia* 32 (1995), p. 159-180.
- [3] Niebauer T.M. et AL. "Frequency stability measurements on polarization-stabilized He-Ne lasers". In : *Applied Optics* (1988), p.1285-1289.
- [4] Jacques BEILIN. "Compensation combinées d'observations gravimétriques absolues et relatives – MCGRAVI". Projet de fin d'étude. ENSG, 2005.
- [5] Helmut Moritz BERNHARD HOFMANN-WELLENHOF. *Physical Geodesy*. T. XVII. 2nd, corr. ed., Springer, 2006, p. 403.
- [6] Pilot laboratory BIPM. *7th International comparison of absolute gravimeters, ICAG-2005, Technical protocol*. Rapp. tech. BIPM, 2005.
- [7] BRGM. *Site web du BRGM - SIG Mines France*. BRGM. Nov. 2009. URL : [http://sigminesfrance.brgm.fr/geophy\\_gravi.asp](http://sigminesfrance.brgm.fr/geophy_gravi.asp).
- [8] Michel CAPDEROU. *Satellites : orbites et missions*. Springer, 2002, p. 511. ISBN : 9782287597725.
- [9] Frédéric CHAMBAT. "Voir la planète avec la pesanteur". In : *Dossiers Pour la Science* 67 (2010), p. 72-73.
- [10] Michel DIAMENT. "Mesure du champ de pesanteur terrestre". In : *Techniques de l'ingénieur* R 1814 (2005).
- [11] Bernard DUCARME. *MT80 - Theoretical tides computation*. Observatoire Royal de Belgique.
- [12] Françoise DUQUENNE et al. *GPS : localisation et navigation par satellites*. Hermès science publications, 2005, p. 330. ISBN : 9782746210905.
- [13] Henri DUQUENNE. "Altitude, nivellation, systèmes de référence altimétrique". In : *Cours aux étudiants PPMD*. ENSG, 2005.
- [14] Germinal GABALDA et Sylvain BONVALOT. *CG3TOOL, Programme interactif de traitement de données gravimétriques Scintrex CG3/3M*. IRD. Juin 2000.
- [15] Germinal GABALDA, Sylvain BONVALOT et Roger HIPKIN. "CG3TOOL : an interactive computer program to process Scintrex CG3/3M gravity data for high resolution applications". In : *Computer & Geosciences* 29 (2003), p. 155-171.
- [16] Scott GLEASON et Demoz GEBRE-EGZIABHER. *GNSS Applications and Methods*. Artech House, août 2009, p. 528. ISBN : 9781596933293.
- [17] GPSW. *IS-GPS-200 rev e, Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces*. Rapp. tech. El Segundo, California : Global Positioning System Wing (Gpsw) Systems Engineering & Integration, 2010.
- [18] Mohinder S. GREWAL et al. *Global positioning systems, inertial navigation, and integration*. Wiley-Interscience, jan. 2007, p. 553. ISBN : 9780470041901.

- [19] Jérôme Verdun HENRI DUQUENNE. "Le champ de pesanteur : notions fondamentales et méthodes modernes de détermination". In : *Cours aux étudiants PPMD*. ENSG, 2006.
- [20] Bernhard HOFMANN-WELLENHOF, Herbert LICHTENEGGER et Elmar WASLE. *GNSS Global Navigation Satellite Systems : GPS, GLONASS, Galileo, and more*. 1<sup>re</sup> éd. Springer, déc. 2007. ISBN : 3211730125.
- [21] Bernhard HOFMANN-WELLENHOF et Helmut MORITZ. *Physical Geodesy*. 1<sup>re</sup> éd. Springer, sept. 2005. ISBN : 3211235841.
- [22] J. IDHE, J. MAKKINEN et M. SACHER. "Conventions for the Definition and Realisation of a European Vertical Reference System (EVRS) - EVRS conventions 2007". In : 2008.
- [23] Len JACOBSON. *GNSS markets and applications*. Artech House, juin 2007, p. 240. ISBN : 9781596930421.
- [24] KLOBUCHAR. "A first order worldwide ionospheric time-delay algorithm". In : *Ionospheric Physics Laboratory, Air Force Cambridge Research Laboratories* (1975). Hanscom AFB, Massachussets Klobuchar John A.
- [25] François L'ECU. "Calcul du quasi-geoïde QGF16 et de la grille de conversion altimétrique RAF16, état d'avancement et perspectives". In : *XYZ* (2017).
- [26] I.M. LONGMAN. "Formulas for Computing the Tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun". In : *Journal of Geophysics Research* 64 (1959), p. 2351-2355.
- [27] J. Hinderer M. AMALVICT N. Debeglia. "The Absolute Gravity Measurements Performed By Sakuma In France, Revisited 20 Years Later". In : *Gravity and Geoid* 3rd meeting of the IGGC (2002), p. 76-83.
- [28] Ahmed EL-RABBANY. *Introduction to GPS : the Global Positioning System*. Artech House, 2002, p. 202. ISBN : 97801580531832.
- [29] M. SACHER et al. "EVRF2007 as Realization of the European Vertical Reference System". In : *Symposium oh the IAG sub-commision for Europe (EUREF) in Brussels, June 18-21 2008*. 2008.
- [30] Nel SAMAMA. *Global positioning : technologies and performance*. Wiley-Interscience, 2008, p. 440. ISBN : 9780471793762.
- [31] Wilfred SCHOFIELD et Mark BREACH. *Engineering surveying*. Butterworth-Heinemann, avr. 2007, p. 637. ISBN : 9780750669498.
- [32] SCINTREX. *User's guide : CG-3/3M Gravity Meter*. Scintrex Ltd. 1995.
- [33] Gunter SEEBER. *Satellite Geodesy*. 2 Revised. Walter de Gruyter, sept. 2003. ISBN : 3110175495.
- [34] Victor G. SZEBEHELY et Hans MARK. *Adventures in celestial mechanics*. Wiley-VCH, 1998, p. 328. ISBN : 9780471133179.
- [35] Wolfgang TORGÉ. *Geodesy*. 3rd ed., De Gruyter, 2001, p. 416.
- [36] Wolfgang TORGÉ. *Gravimetry*. Walter de Gruyter, déc. 1989, p. 488. ISBN : 9783110107029.
- [37] James Bao-yen TSUI. *Fundamentals of global positioning system receivers : a software approach*. John Wiley et Sons, 2005, p. 373. ISBN : 9780471706472.
- [38] P. WESSEL et W.H.F. SMITH. "Free software helps map and display data". In : *EOS Trans. Amer. Geophys. U*. 72 (1991), p. 445-446.
- [39] P. WESSEL et W.H.F. SMITH. *The Generic Mapping Tools Technical Reference and Cookbook*. SOEST-NOAA. 2010.
- [40] Derek Van WESTRUM. *A10 absolute portable gravimeter*. Micro-g Solutions, Inc., 2005.
- [41] Guochang XU. *GPS : theory, algorithms, and applications*. Springer, 2007, p. 354. ISBN : 9783540727149.

- [42] Guochang XU. *Orbits*. Springer, 2008, p. 236. ISBN : 9783540785217.



# **Table des figures**



# **Liste des tableaux**



# Annexes

A	Filtre de Kalman	45
B	Moindres carrés	47



# FILTRE DE KALMAN

---

ANNEXE  
**A**

Contenu de l'annexe sur Kalman...



# MOINDRES CARRÉS

---

ANNEXE B

Contenu de l'annexe sur MC...