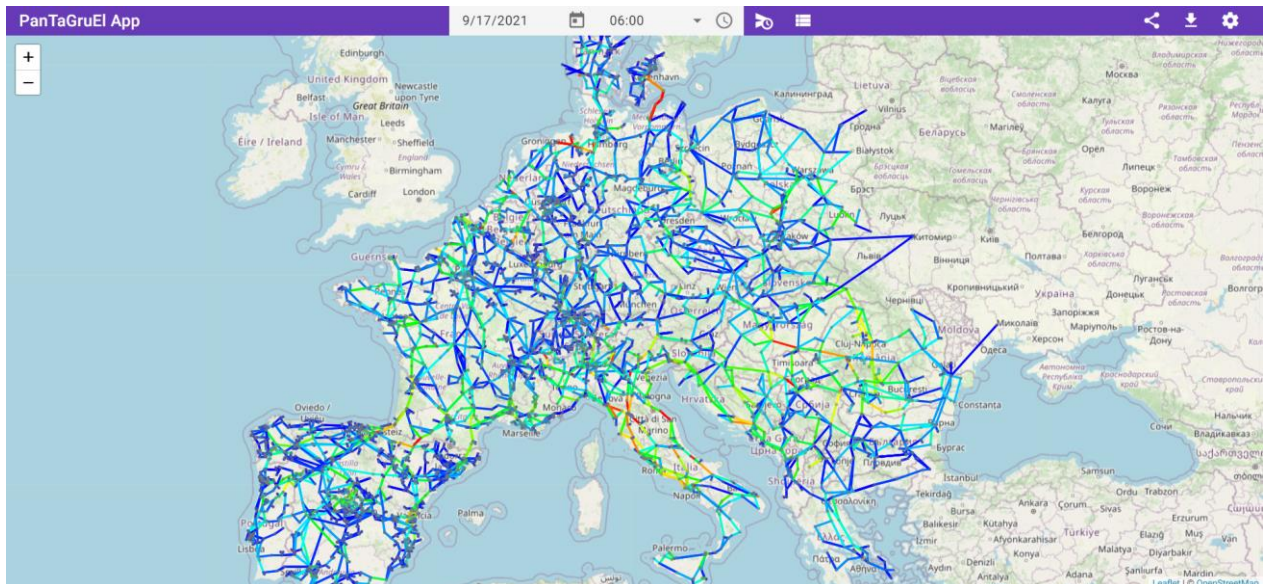


## Travail de Bachelor 2023

# Développement d'une interface user friendly pour le pilotage de simulation de réseau électrique intelligent



Etudiante : Gwenaëlle Gustin

Professeur : David Wannier

Date de dépôt : 11 août 2023

## SOURCE DE L'ILLUSTRATION DE LA PAGE DE TITRE

Page d'accueil du site <https://etranselec.ch/pantafrontend/>

## RÉSUMÉ

Ce document résume le processus de recherche, d'analyse et de création d'une application web de simulation du réseau électrique européen. Le défi de cette application est d'offrir la possibilité aux utilisateurs de modifier des données et d'en visualiser les conséquences sur les autres éléments du réseau. La demande vient de l'équipe de travail du Professeur Philippe Jacquod de l'institut de recherche Énergie et Environnement de la HESSO-Valais.

Pour établir les besoins primordiaux, les bases de l'électricité et le fonctionnement du réseau électrique européen ont été étudiés. Suite à cela, un état de l'art des applications existantes et une étude de cas ont permis de sélectionner les technologies à utiliser.

La résultante de ces analyses a été la mise en place d'une gestion de projet, la création d'une application en Angular TS et l'automatisation du déploiement. Le développement de l'application a suivi la méthodologie Scrum et s'est déroulé sur quatre sprints.

Mots-clés : application web, réseau électrique, carte interactive, transition énergétique

## AVANT-PROPOS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du diplôme de Bachelor en Informatique de Gestion à la Haute École Spécialisée de Suisse Occidentale Valais/Wallis, en filière à temps partiel. Il a été supervisé par le Professeur David Wannier de la HES-SO Valais/Wallis, professeur dans la filière Informatique de gestion et membre de l'institut de recherche Énergie et environnement.

La problématique à résoudre est née des besoins du Professeur Philippe Jacquod de l'institut de recherche Énergie et environnement de la HESSO-Valais. Son équipe construit un modèle de réseaux intelligents pour explorer les scénarios de transition énergétique dans le domaine de l'électricité et a besoin d'encapsuler ses algorithmes, d'en avoir une visualisation facile et de modifier certaines valeurs d'entrées (Jacquod, 2023). Pour cela, ils ont besoin d'une application web dynamique paramétrable permettant de simuler la charge variable sur le réseau électrique européen et d'en simuler les conséquences sur la stabilité du réseau (Jacquod, 2023).

L'objectif de ce travail est d'analyser la situation existante, de mettre en place une gestion de projet et de proposer au minimum un proof of concept répondant aux critères de l'application demandée. L'analyse contient le contexte, l'état de l'art des applications existantes, une étude de la demande du professeur Jacquod et une comparaison des technologies envisagées. Pour le développement, la méthodologie Scrum a été utilisée, en intégrant du DevOps.

Bien que ce document présente certaines bases nécessaires pour comprendre le travail derrière la création des données affichées, il n'entre pas dans les détails des problématiques mathématiques auxquelles est confronté le groupe de travail du professeur Jacquod.

Les principaux défis de ce projet ont été la compréhension et l'affichage de données complexes. À ce challenge s'ajoute des échanges uniquement en anglais avec le contact de l'équipe du professeur Philippe Jacquod. Ces difficultés ont été surmontées par un investissement de temps par les deux partis et une communication bienveillante. L'apprentissage d'un nouveau framework, Angular, a également été une expérience enrichissante.

## REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier le professeur David Wannier pour ses conseils pertinents durant ce travail ainsi que pour la mise à disposition du code du projet Hotmaps.

Je souhaite aussi remercier le professeur Philippe Jacquod et son équipe, pour leur accueil et la proposition du sujet, et particulièrement Julian Fritzsich pour sa réactivité et la plaisante collaboration, ainsi que Laurent Pagnier pour les explications de son travail lors de son passage en Suisse.

Merci également à toutes les personnes qui ont apporté leur aide sur des points spécifiques :

- Jean-Luc Beuchat, professeur à la HES-SO Valais-Wallis, pour l'accès et la mise en place du GitLab de la HES ;
- João Carlos Ferreira Da Silva, assistant HES membre du groupe EASILab, pour l'installation de l'environnement de développement de Hotmaps et les explications de l'architecture
- Alain Duc, professeur à la HES-SO Valais-Wallis, pour la création et le déploiement d'un Docker ;
- Raphaël Balet, CEO de Megaphone Communications AG, pour ses conseils lors du refactor du code Angular, mais également pour la relecture du contexte et de l'état de l'art ;
- Yves Bochatay, développeur web/mobile/backend chez Spektrum SA, pour ses retours sur l'analyse technologique ;
- Matthieu Hagenbuch, étudiant HES-SO Valais-Wallis Informatique de gestion, pour ses explications des bases de l'électricité et la relecture ;
- Lucien Troillet, diplômé en Sciences et ingénierie de l'environnement de l'EPFL et actuel doctorant KUT Japon laboratoire d'informatique avancée, pour ses explications concernant la puissance réactive et le power flow ;
- Mon ami Gaëtan Aymon et ma sœur Coline Remy, pour leur relecture orthographique ;
- Mes proches et ma famille pour leur soutien durant la formation.

## TABLE DES MATIÈRES

SOURCES DES ILLUSTRATIONS DE LA PAGE DE TITRE .....	II
RÉSUMÉ.....	III
AVANT-PROPOS .....	IV
REMERCIEMENTS .....	V
TABLE DES MATIÈRES .....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	IX
LISTE DES FIGURES .....	IX
LISTE DES ABRÉVIATIONS ET MOTS SPÉCIFIQUES .....	XII
TERMINOLOGIE SCRUM.....	XIII
INTRODUCTION.....	1
1. CONTEXTE.....	3
1.1. CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE .....	3
1.1.1. Base de l'électricité .....	3
1.1.2. Du générateur à la cafetière .....	6
1.1.3. L'équilibre fragile du réseau .....	8
1.1.4. Ordre de mérite .....	9
1.1.5. Contexte légal suisse .....	10
1.1.6. Impact de la transition énergétique sur le réseau .....	11
1.2. ELECTRICAL ENERGY EFFICIENCY GROUP .....	12
1.2.1. Équipe.....	12
1.2.2. Power flow .....	12
1.2.3. PanTaGruEl.....	13
2. ETAT DE L'ART .....	15
2.1. ENERGY-CHARTS .....	15
2.2. ELECTRICITY MAPS.....	16
2.3. HOTMAPS .....	17
2.4. CAPARÉSEAU .....	18
2.5. ÉCO <sub>2</sub> MIX .....	19
2.6. LE TEMPS .....	20
2.7. SWISSGRID .....	21
2.8. OFEN .....	22
2.9. ANALYSE DES SITES .....	23
3. ÉTUDE DE CAS .....	24

3.1. DESCRIPTIF.....	24
3.2. FONCTIONNALITÉS.....	24
3.2.1. Affichage des données d'un réseau sur la carte (E1) .....	25
3.2.2. Sélection des données à afficher (E2).....	27
3.2.3. Modification des données et affichage du nouveau réseau (E3) .....	27
3.2.4. Sauvegarde et partage de scénarios (E4) .....	28
3.3. API.....	29
3.3.1. Lancement de l'API .....	29
3.3.2. Fonctionnement .....	30
3.3.3. Format des données de sorties de l'API.....	31
<b>4. ANALYSE TECHNOLOGIQUE .....</b>	<b>35</b>
4.1. POSSIBILITÉ D'INTÉGRATION À HOTMAPS .....	35
4.1.1. Description de Hotmaps .....	35
4.1.2. Adaptation pour un réseau électrique .....	37
4.1.3. Conclusion intégration à Hotmaps.....	40
4.2. POSSIBILITÉS DE DÉVELOPPEMENT .....	41
4.2.1. JavaScript et TypeScript .....	42
4.2.2. C# : ASP.NET Core et ASP.NET .....	45
4.2.3. Python .....	45
4.2.4. Dart : Flutter .....	45
4.2.5. Comparaison .....	46
4.3. CHOIX TECHNOLOGIQUES .....	48
4.3.1. Frontend.....	48
4.3.2. Déploiement frontend.....	49
4.3.3. Base de données.....	50
4.3.4. Backend.....	51
<b>5. GESTION DE PROJET .....</b>	<b>52</b>
5.1. ORGANISATION GÉNÉRALE .....	52
5.2. DÉROULEMENT DES SPRINTS.....	54
5.2.1. Sprint 0 .....	54
5.2.2. Sprint 1 - affichage des données.....	57
5.2.3. Sprint 2 - sélection des données à afficher .....	60
5.2.4. Sprint 3 - création de scénarios.....	63
5.2.5. Sprint 4 - gestion de l'édition.....	67
5.3. DEVOPS.....	70
5.3.1. GitLab.....	71
5.3.2. Netlify .....	72
5.4. VÉLOCITÉ ET RELEASE ROADMAP .....	74
5.5. VERSION FINALE (USER GUIDE) .....	76

5.6. SUITE DU PROJET .....	80
CONCLUSION.....	81
RÉFÉRENCES .....	82
ANNEXE I : FICHIER CASE14.M.....	89
ANNEXE II : FICHIER IEEE14.JSON .....	92
ANNEXE III : NOTE POWER FLOW PAR JULIAN FRITZSCH .....	93
ANNEXE IV : PRODUCT BACKLOG .....	100
ANNEXE V : ARCHITECTURE DE L'APPLICATION.....	104
ANNEXE VI : STRUCTURE DU CODE .....	105
ANNEXE VII : SUIVI DES HEURES .....	106
DÉCLARATION DE L'AUTEUR.....	107



## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Intensité, tension, résistance et puissance électrique .....	4
Tableau 2 : Courant continu et courant alternatif .....	5
Tableau 3 : Niveaux du réseau électrique .....	7
Tableau 4 : Récapitulation des sites existants .....	23
Tableau 5 : Types de générateurs et leur nombre d'occurrence .....	26
Tableau 6 : Avantages et inconvénients principaux des bibliothèques de cartes compatibles avec React.js.....	43
Tableau 7 : Comparaison des frameworks avec pondération .....	46
Tableau 8 : Valeurs pour le calcul de vitesse et release roadmap du projet.....	74
Tableau 9 : Valeurs pour la variabilité du projet .....	75
Tableau 10 : Structure de l'interface de l'application .....	76

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Information électrique d'un chargeur d'un ordinateur portable .....	5
Figure 2 : Circuit simple, en série et en parallèle.....	6
Figure 3 : Niveaux de réseau électrique .....	7
Figure 4 : Graphique de l'ordre de mérite .....	9
Figure 5 : Visualisation d'un modèle PanTaGruEl exporté par l'équipe GEEE .....	14
Figure 6 : Capture d'écran du site Swiss Energy-Charts .....	15
Figure 7 : Capture d'écran du site Electricity Maps .....	16
Figure 8 : Application Hotmaps avec trois couches affichées (industrial sites emissions, population total, electricity CO2 emissions - country average).....	17
Figure 9 : Capture d'écran du site CAPARÉSEAU.....	18
Figure 10 : Capture d'écran du site RTE montrant les échanges commerciaux aux frontières entre la Suisse et la France le mercredi 9 août 2023 .....	19
Figure 11 : Capture d'écran du site RTE montrant la comparaison des prix au MWh en Europe de l'Ouest entre le 9 juin et 4 août 2023 .....	19
Figure 12 : Graphique des sources de production électrique sur une journée .....	20
Figure 13 : Carte des lignes à très haute tension de suisse .....	21
Figure 14 : Bug d'Open Street View sur le site Swissgrid .....	21
Figure 15 : Installations de production électriques avec les données de l'OFEN.....	22
Figure 16 : Carte du développement du photovoltaïque au niveau communal de l'OFEN .....	22
Figure 17 : Mockups "Affichage des informations" .....	25
Figure 18 : Mockups du choix de la date et de l'heure .....	27
Figure 19 : Commande d'instanciation de Julia .....	29
Figure 20 : Commandes du gestionnaire de packages Pkg.....	29

Figure 21 : Deuxième version de la commande d'ajout du package .....	29
Figure 22 : Commandes de lancement de l'API en Julia .....	30
Figure 23 : Emplacement et fichier (censuré) de licence Gurobi .....	31
Figure 24 : Structure des données du réseau case14.....	32
Figure 25 : Détails de chaque champ de données d'un réseau retourné par PanTaGruEl .....	34
Figure 26 : Capture d'écran du site de base Hotmaps .....	35
Figure 27 : Capture d'écran du site de Hotmaps cloud avec la couche electricity CO2 emissions .	36
Figure 28 : Schéma de fonctionnement des calculations modules de Hotmaps .....	36
Figure 29 : Gestion des personnel layers dans Hotmaps .....	37
Figure 30 : Affichage de la couche Industrial sites excess heat de Hotmaps .....	37
Figure 31 : Différentes couches utilisées dans Hotmaps.....	38
Figure 32 : Structure de l'objet map dans Hotmaps .....	38
Figure 33 : Première possibilité de Hotmaps pour afficher des détails d'un point (LAU) .....	39
Figure 34 : Deuxième possibilité de Hotmaps pour afficher des détails d'un point (Hectare et sélection).....	39
Figure 35 : Top 10 de technologies et frameworks web les plus populaires chez les développeurs professionnels en 2022 .....	41
Figure 36 : Top 10 de technologies et frameworks web les plus populaires chez les développeurs professionnels en 2023 .....	41
Figure 37 : Web frameworks and technologies worked with vs. want to work with.....	42
Figure 38 : Application de test avec React et Leaflet .....	43
Figure 39 : Projet de test en Angular utilisant Leaflet affichant les données de PanTaGruEl .....	44
Figure 40 : Paramètre de build des projets Netlify .....	49
Figure 41 : Extrait du fichier angular.json du projet Angular.....	49
Figure 42 : structure de Storage de Firebase .....	50
Figure 43 : structure des données dans la Realtime Database de Firebase .....	50
Figure 44 : Fichiers nécessaires au « docker up ». .....	51
Figure 45 : Nombre de commits par jour de la semaine.....	52
Figure 46 : Extrait de la liste de tâche du sprint 0 .....	54
Figure 47 : Visuel du projet test du sprint 0 .....	55
Figure 48 : Extrait des mockups du projet Figma.....	55
Figure 49 : Fenêtre d'import d'issues dans GitLab depuis un fichier CSV .....	56
Figure 50 : Liste des user stories du sprint 1 .....	57
Figure 51 : Graphiques du sprint 1 .....	58
Figure 52 : mail de fin de sprint 1 .....	59
Figure 53 : Liste des user stories du sprint 2 .....	60
Figure 54 : Liste des incidents du sprint 2 .....	60
Figure 55 : User story 48 .....	60
Figure 56 : Hotfix du sprint 2 .....	61
Figure 57 : Mail de fin de sprint 2.....	61

Figure 58 : Graphiques du sprint 2.....	62
Figure 59 : Liste des user stories du sprint 3 .....	63
Figure 60 : Structure du code avant refactor .....	64
Figure 61 : Structure du code après refactor .....	64
Figure 62 : Mail de fin de sprint 3.....	64
Figure 63 : Graphiques du sprint 3.....	65
Figure 64 : Nouveau menu sur le site estranselec.ch pour accéder à l'application .....	66
Figure 65 : Liste des user stories du sprint 4 .....	67
Figure 66 : Graphiques du sprint 4.....	67
Figure 67 : Mail de fin de sprint 4.....	69
Figure 68 : Processus DevOps de l'application.....	70
Figure 69 : Extrait des essais de pipeline sur GitLab pour l'API.....	71
Figure 70 : Issue board de GitLab au moment du rendu de projet .....	72
Figure 71 : Logs Netlify en cas de déploiement réussi .....	73
Figure 72 : Logs Netlify de l'échec du déploiement du 27 mai 2023 .....	73
Figure 73: Graphique de la vélocité du projet .....	74
Figure 74 : Release roadmap du projet .....	75
Figure 75 : Graphique de variabilité du projet .....	75
Figure 76 : Exemples de snackbar .....	76
Figure 77 : Fenêtre de modification de consommation par pays .....	77
Figure 78 : Panneau d'options de l'application finale .....	78
Figure 79 : Popup d'information avec deux <i>bus</i> , dont un avec deux <i>gens</i> , et un transformateur..	78
Figure 80 : Popup d'information en mode édition .....	78
Figure 81 : Panneau latéral de modification sans modification validée.....	79
Figure 82 : Panneau latéral de modification avec une modification.....	79
Figure 83 : Popup avec les données en brut.....	79
Figure 84 : Panneau des modifications avec totaux non arrondis .....	79

## LISTE DES ABRÉVIATIONS ET MOTS SPÉCIFIQUES

AC	Alternating Current, courant alternatif
API	Interface de Programmation d'Application
<i>Branch</i>	En italique, il correspond à un type de données du modèle PanTaGruEl avec un bus de départ et d'arrivée. Ce n'est pas le même mot que branche, en romain, qui signifie une des versions du code dans la terminologie Git
<i>Bus</i>	Mot pour parler d'un point de connexion, dans notre cas il possède toujours des coordonnées géographiques
CD	Continuous Deployment
CI	Continuous Integration
CSV	Comma-separated values, format de données où les valeurs sont séparées par des virgules
DC	Direct Current, courant continu
DevOps	Contraction de Development Operations
ECTS	Système européen de transfert et d'accumulation de crédits
EnRi	Source d'énergie intermittente, énergie renouvelable liée à des flux naturels instable
ENTSO-E	European Network of Transmission System Operators for Electricity, association européenne pour la collaboration pour la coopération des gestionnaires de réseau de transport d'électricité
GEEE	Electrical Energy Efficiency Group
<i>Gen</i>	Abréviation de generator, générateur d'électricité
<i>Grid</i>	Mot anglais pour parler d'un réseau électrique, évite la confusion
HVDC	High Voltage Direct Current, courant continu haute tension (CCHT)
IDE	Environnement de Développement Intégré
JPG	Joint Photographic Experts Group, format de fichier pour image numérique
JSON et GeoJSON	JavaScript Object Notation, format de données textuel et sa variante contenant des données géographiques
<i>Load</i>	Charge en français, représente la consommation de la population dans une zone de la carte
OFEN	Office fédéral de l'énergie
OPF	Optimal Power Flow, répartition de puissance optimale
PanTaGruEl	pan-European transmission grid and electricity generation model
PF	Power Flow, répartition de puissance
PNG	Portable Network Graphics, format de fichier pour image numérique
SVG	Scalable Vector Graphics, format de fichier pour image numérique
TIFF	Tag Image File Format, format de fichier pour image numérique.
UE28	Europe des Vingt-huit (Allemagne, Belgique, France, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Danemark, Irlande, Royaume-Uni, Grèce, Espagne, Portugal, Autriche, Finlande, Suède, Chypre, Estonie, Hongrie, Lettonie, Lituanie, Malte, Pologne, République tchèque, Slovaquie, Slovénie, Bulgarie, Roumanie, Croatie)
UI	Interface utilisateur, environnement graphique proposé aux utilisateurs
UX	Expérience utilisateur, ergonomie d'interface utilisateur

## TERMINOLOGIE SCRUM

Scrum : gestion de projet flexible qui aide les équipes à structurer et à gérer leur travail selon un ensemble de valeurs, de principes et de pratiques, comme l'apprentissage par l'expérience et l'amélioration continue (*Qu'est-ce que Scrum et comment se lancer*, s. d.).

Epic : travail qui peut être découpé en fonctionnalités spécifiques, appelées "stories" ou "user stories", basées sur des besoins / demandes de clients ou utilisateurs finaux (Rehkopf, s. d.-a)

User story, US : explication non formelle, générale d'une fonctionnalité logicielle écrite du point de vue de l'utilisateur final. Son but est d'expliquer comment une fonctionnalité logicielle apportera de la valeur au client (Rehkopf, s. d.-b). Une user story est formulée de la façon suivante : « As a [rôle], I want [fonctionnalité] so that [bénéfice] »

Product backlog : liste des user stories hiérarchisées par priorité destinée à l'équipe de développement (Radigan, s. d.-a)

Story point, SP : « Unités de mesure qui permettent d'estimer l'effort global nécessaire pour implémenter intégralement une tâche du product backlog. Les équipes assignent des story points en fonction de la complexité et du volume du travail, mais aussi du risque ou de l'incertitude. » (Radigan, s. d.-b)

Product owner, PO : « Situé entre l'équipe technique et le client, il est en charge de garantir que le projet répondra parfaitement aux attentes des usagers » (*Fiche métier : Product Owner*, s. d.)

Sprint review : « Réunion qui a lieu en fin de sprint, où l'équipe Scrum présente aux parties prenantes l'incrément de sprint et le travail réalisé en cours de sprint. Cela permet de recueillir le feedback des utilisateurs en vue d'améliorer le produit et de maximiser sa valeur. » (*Qu'est-ce qu'une sprint review ?*, 2022)

Rétrospective : « Réunion destinée à l'amélioration continue, qui clôture le sprint. » (*Qu'est-ce qu'une rétrospective de sprint ?*, 2022)

Sprint planning : « Événement Scrum qui ouvre le sprint, et qui a comme objectif de définir l'objectif de sprint et de cadrer le travail à réaliser pendant celui-ci » (*Qu'est-ce qu'un sprint planning ?*, 2022)

## INTRODUCTION

Avec la votation du 18 juin 2023, le peuple suisse vient de confirmer sa volonté de neutralité climatique pour 2050. Cette neutralité carbone implique que « la Suisse ne devra plus rejeter dans l’atmosphère davantage de gaz à effet de serre que ce que les réservoirs naturels et artificiels peuvent absorber » (*Voici à quoi devrait ressembler une Suisse décarbonée en 2050*, 2023). La mise en place de pompes à chaleur et l’amélioration de l’isolation des bâtiments font évidemment partie des solutions. Mais cet objectif n’est réalisable qu’en modifiant drastiquement la provenance de l’énergie. Si nous n’anticipons pas ce changement, les sources d’énergies fossiles viendront à manquer, que cela soit par manque de matières premières, comme le pétrole, ou par conflit géopolitique, comme le gaz. De plus, nous avons voté en 2007 pour la sortie du nucléaire.

De nombreuses entités étudient comment cette transition énergétique est possible et quels en seront les impacts. Par exemple, une collaboration entre l’EPFL et la HES-SO Valais a simulé qu’« un système énergétique suisse neutre en carbone et indépendant en 2050 est théoriquement réalisable en utilisant les ressources locales d’énergie renouvelable actuellement inexploitées » (Mediacom / Ipese, 2023). Ce modèle bouleverse le système actuel d’approvisionnement énergétique, appelé ordre de mérite, basé sur le prix le moins cher et l’importation, en poussant à envisager l’investissement local. Cela afin d’améliorer notre indépendance énergétique en produisant plus d’électricité de manière indigène.

Cependant le réseau électrique suisse n’est pas vraiment suisse, il est connecté au réseau de plusieurs pays européens, eux-mêmes en connexion avec leurs voisins. Le réseau européen est gigantesque et totalement interdépendant, si bien qu’une perturbation dans la production électrique au Kosovo peut modifier l’heure dans certains appareils électriques en Suisse, comme cela est arrivé en 2018 (Delbecq, 2018).

De plus, depuis la hausse du prix du gaz causée par la guerre en Ukraine dont une partie est utilisée pour produire de l’électricité, l’Union Européenne remet en question le système entier. Le réseau déjà fragile va être bouleversé totalement, autant économiquement que par l’augmentation de la part d’énergies vertes, plus instables. La simulation de scénarios est nécessaire afin de mettre en lumière ses faiblesses.

Le groupe de recherche du professeur Philippe Jacquod de l’institut Énergie et Environnement de la HESSO-Valais travaille à créer un modèle capable de calculer les données du réseau européen en simulant des contraintes. Pour faciliter la visualisation et l’entrée des paramètres, ils ont besoin d’une application web de simulation du réseau électrique européen, en utilisant les données retournées par leur modèle, nommé « PanTaGruEl ». Ce travail de Bachelor retrace le processus d’analyse, de création et de mise à disposition de cette application.

La première phase de ce travail consiste à poser un contexte permettant au lecteur d'avoir toutes les connaissances requises à la compréhension des différents aspects abordés dans la phase d'analyse. Ce premier chapitre inclut le contexte énergétique et une vulgarisation du travail du groupe du professeur Jacquod.

La deuxième partie du travail, l'état de l'art, est un survol de huit sites internet existants affichant des informations sur le réseau électrique. Suite à cela, une étude de cas décrit les besoins primordiaux de l'application et les sources de données à disposition.

Avant la mise en place du projet pratique, l'analyse technologique évalue les possibilités en termes d'intégration et de langages de développement, et se conclut sur les choix techniques, tels que les outils CI/CD et le branching strategy. La mise à disposition des données est définie au moyen de deux bases de données et d'une API.

Le travail se poursuit par la description de la gestion de projet, avec un historique des étapes de développement. La méthodologie Scrum a permis la gestion du travail de création de l'application. Les termes spécifiques à cette gestion de projet sont expliqués dans le lexique du point précédent. L'évaluation des résultats obtenus et des outils utilisés, ainsi des propositions d'amélioration clôturent ce travail.

# 1. CONTEXTE

Afin de définir les besoins de l'application, il est nécessaire de comprendre le travail de l'équipe du professeur Philippe Jacquod, le Electrical Energy Efficiency Group, abrégé GEEE. Pour cela, les bases de l'électricité, le fonctionnement du réseau électrique européen, le contexte légal énergétique suisse et les implications entre ces deux derniers doivent être abordés. Enfin, le contexte se termine par une présentation succincte des membres du GEEE et de leur travail.

## 1.1. CONTEXTE ÉNERGÉTIQUE

### 1.1.1. BASE DE L'ÉLECTRICITÉ

Afin de comprendre les possibles faiblesses d'un réseau électrique, il est nécessaire d'être familiarisé avec les concepts liés à l'électricité. Ce chapitre présentera donc les principaux concepts importants pour la compréhension des parties suivantes.

Pour faire fonctionner des appareils électriques, il est nécessaire qu'une grande quantité d'électrons circulent dans la même direction dans un circuit<sup>1</sup>. Les appareils placés sur ce circuit seront activés par ces électrons et produiront de la chaleur et/ou de la lumière. Ce flux d'électrons correspond au courant, plus généralement appelé intensité dans le domaine, et est calculé en ampère. Pour forcer les électrons à se déplacer, il faut appliquer une tension sur le circuit (Mentalité Ingénieur, 2021). La tension électrique, mesurée en volt, est la différence de potentiel entre deux points du circuit (*Volt, watt, ampère*, 2022).

Pour comprendre tous ces aspects, l'électricité est souvent comparée à de l'eau. Il est facile de comprendre que l'eau se déplaçant dans un tuyau est défini par un débit et une pression. Pour les électrons, cela correspond au courant et à la tension. Tout comme la pression peut être mesurée sans débit, la tension peut être mesurée sans intensité. Mais le débit, respectivement l'intensité, ne peut être mesurée si aucune eau, aucun électron ne circule (Mentalité Ingénieur, 2021). Au niveau des unités, un débit est généralement calculé en m<sup>3</sup>/s. Un ampère, l'unité de l'intensité du courant, correspondent à un coulomb par seconde, et un coulomb correspond à 6,24 milliards de milliards de charges électriques (*Coulomb*, 2023).

---

<sup>1</sup> En réalité, ce n'est pas le déplacement des électrons qui transporte l'énergie mais les champs magnétiques et électriques. Pour ce chapitre sur les bases, l'électricité sera vulgarisée comme un flux d'électron, de la même manière que cela est fait dans tous cours d'introduction à l'électricité.



Pour garder la comparaison avec l'eau, à pression identique la taille du tuyau utilisé a un impact sur le débit. Pour l'électricité, c'est la résistance du matériau qui impacte l'intensité à tension égale. La résistance est la propriété d'un composant à s'opposer au passage du courant (*Résistance (électricité)*, 2023). Cette propriété peut être utilisée comme dans le cas d'une ampoule à incandescence, où la résistance du fil permet de le faire chauffer au point d'éclairer, ou dans n'importe quel corps de chauffe, comme dans un four. Elle est aussi utilisée dans le cas d'un fusible, qui se rompt si la limite thermique est dépassée et donc protège le reste du circuit. La plupart du temps, la résistance est vue comme l'une des causes de la perte d'énergie sur une ligne électrique (*Résistance (électricité)*, 2023).

Le résultat de la multiplication de la tension par l'intensité permet de connaître la puissance. Calculé en watt, elle représente la quantité d'énergie en joule pendant une seconde (*Volt, watt, ampère*, 2022) (*Puissance électrique*, 2022).

	Symbole	Unité	Comparaison eau	Formule
Intensité / courant	I	Ampères (A)	Débit	$U = R \cdot I$
Tension	U	Volts (V)	Pression	
Résistance	R	Ohms ( $\Omega$ )	Taille du tuyau	
Puissance	P	Watt (W)	Puissance hydraulique	$P = U \cdot I$

Tableau 1 : Intensité, tension, résistance et puissance électrique  
Tableau de l'auteur

Il existe deux moyens de faire circuler les électrons dans les appareils électriques : le courant continu, abrégé DC et le courant alternatif, AC. Le courant continu est le passage des électrons dans un sens unique, il peut être comparé à une rivière. Le courant alternatif est un courant changeant de sens de manière périodique, similairement à des vagues sur une plage : l'eau monte sur le sable puis redescend, mais elle est presque toujours en mouvement.

Le courant alternatif est utilisé principalement pour le transport. Le courant continu est exploité principalement pour les petits éléments, tels les circuits imprimés, et les éléments sur batterie, comme les téléphones portables. Ce dernier est plus facile à contrôler et permet au circuit d'être plus compact (*Mentalité Ingénieur*, 2021). De nombreux appareils utilisent les deux, comme une machine à laver qui possède un moteur et une gestion électronique (*Mentalité Ingénieur*, 2021).

Le courant peut être converti du AC au DC au moyen d'un convertisseur ou redresseur. Les onduleurs permettent de faire la conversion dans le sens contraire, du DC au AC. C'est ce qui est utilisé avec les panneaux solaires avant l'injection dans le réseau électrique, car l'énergie solaire génère du courant continu.

Mais dans la plupart des cas, les générateurs fournissent un courant alternatif. Ces générateurs, hydrauliques, éoliens, à combustion de matières créant de la vapeur, utilisent un principe de rotation. L'énergie cinétique est transformée en énergie électrique au moyen d'un alternateur.

Un alternateur est construit avec deux pièces principales : un rotor composé d'un aimant tournant sur lui-même et d'un stator disposant de plusieurs bobines magnétiques. Le champ magnétique généré par la rotation de l'aimant permet au courant dans les bobines de changer de sens. Cette inversion répétée crée un courant sinusoïdal qui caractérise le courant alternatif.

Le courant alternatif est caractérisé par une autre notion : la fréquence. Une fréquence est le nombre de fois qu'un phénomène périodique se reproduit dans un temps défini (*Fréquence*, 2023). En électricité, ce phénomène est le changement périodique du sens du courant (*La fréquence électrique, un indicateur d'équilibre du réseau*, s. d.). Plus exactement, c'est le nombre d'oscillations du signal en une seconde, indiqué en hertz (Hz). Sur le réseau européen, la fréquence s'élève à 50 hertz. Cela signifie que le courant effectue cinquante oscillations par seconde et donc change cent fois de sens en une seconde (*Courant alternatif*, 2023).

	Abréviation	Symbole
Courant continu	DC (direct current)	==
Courant alternatif	AC (alternating current)	~

Tableau 2 : Courant continu et courant alternatif  
Tableau de l'auteur

Dans le cas d'un chargeur d'ordinateur portable avec l'étiquette ci-dessous, le courant alternatif accepté en entrée est de 1,5A, la tension doit être entre 100 et 240V et la fréquence entre 50 et 60 hertz. Le « chargeur » va convertir le courant alternatif suisse (230V, 50Hz) en courant continu de 4,74A avec une tension de 19V. La puissance affichée est de 90.1W et correspond bien à 19V multiplié par 4.74A.

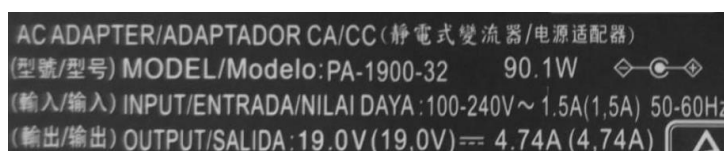


Figure 1 : Information électrique d'un chargeur d'un ordinateur portable  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Il existe deux règles importantes définissant la conservation de l'énergie et de la charge dans un circuit électrique : les lois de Kirchhoff. La première loi est la loi des nœuds. Un nœud est la séparation d'une ligne. Elle s'exprime ainsi : « La somme des intensités des courants qui entrent par un nœud est égale à la somme des intensités des courants qui sortent du même nœud » (*Lois de Kirchhoff*, 2023). La deuxième est la loi des mailles, ou loi des boucles. Une maille, ou boucle, est un parcours fermé dans un circuit (*Les lois de Kirchhoff*, s. d.). Celle-ci stipule que « Dans une maille d'un réseau électrique, la somme des tensions le long de cette maille est toujours nulle » (*Lois des mailles*, s. d.).

C'est pourquoi la forme que prend un circuit impacte l'intensité et la tension des éléments résistants du circuit. Si plusieurs appareils sont branchés sur le même circuit en série, la résistance globale augmente et le courant diminue. Mais si les mêmes appareils sont branchés en parallèle, la résistance globale diminue car le courant a plus de possibilités de chemin et l'intensité se sépare à la sortie d'un nœud (1<sup>e</sup> loi de Kirchhoff). La somme des tensions dans une boucle est égale à la tension du générateur (2<sup>e</sup> loi de Kirchhoff).

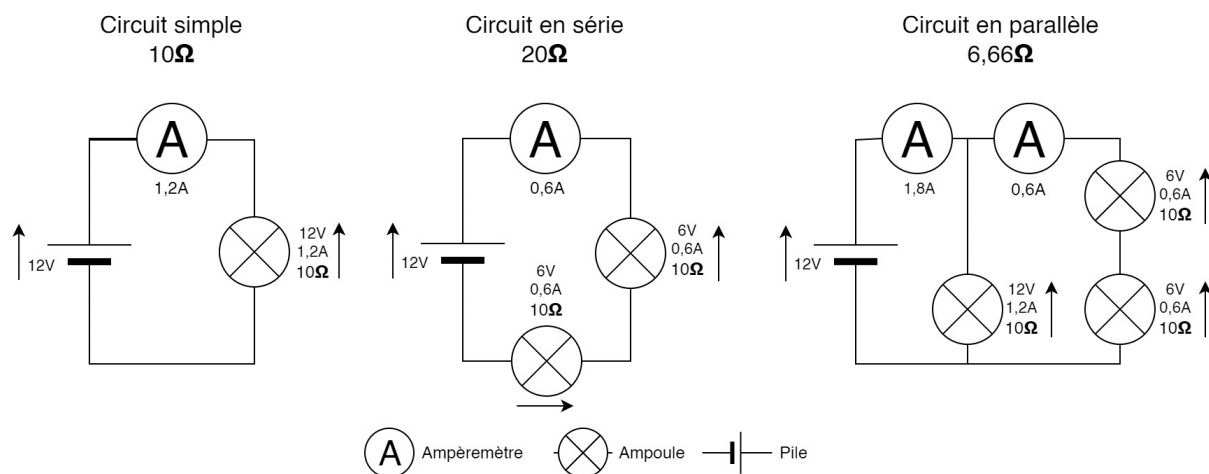


Figure 2 : Circuit simple, en série et en parallèle  
Source de l'auteur

### 1.1.2. DU GÉNÉRATEUR À LA CAFETIÈRE

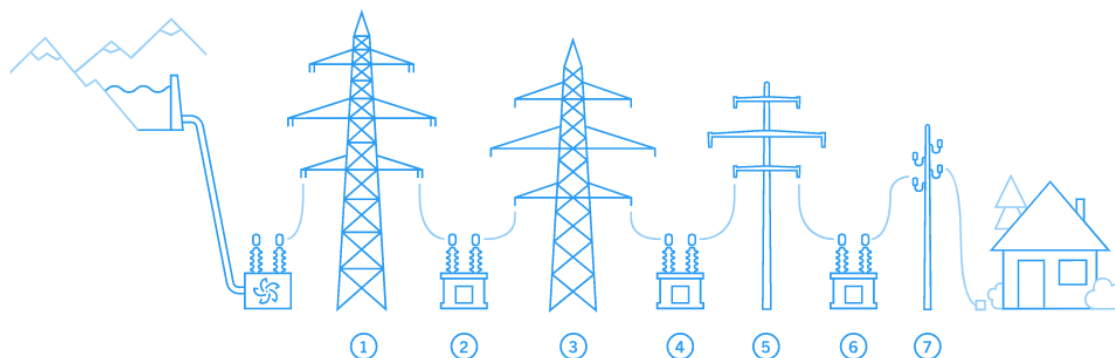
Le but d'un producteur d'énergie électrique est de produire de la puissance de manière rentable, et de la transporter avec le moins de perte possible. La quantité de pertes, sous forme de chaleur, est liée à la longueur du réseau, la haute résistance du conducteur et à une tension basse (*Perte en ligne (électricité)*, 2023). En diminuant l'intensité, les pertes sont atténuées et par conséquent la tension est augmentée afin de garder la même puissance (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Réseau électrique, Réseau de transport suisse*, s. d.). La perte est calculée en multipliant la résistance du conducteur par le carré de l'intensité  $P_{\text{loss}} = R \cdot I^2$ .

En Suisse, les lignes avec les plus hautes tensions s'élèvent à 150 000, 220 000 ou 380 000 volts (150, 220, 380 kV). Avant d'arriver en 230 V dans les ménages, l'électricité traverse en général sept niveaux, dont quatre niveaux de transport. Le niveau un est appelé très haute tension et possède une tension de 380 ou 220 kV. Le niveau trois, haute tension, se situe entre 36 et 150 kV. Le niveau cinq, moyenne tension, gère la tension entre 1 et 36 kV. Le niveau sept, basse tension, s'occupe de tout ce qui est en dessous de 1 kV. Les niveaux deux, quatre et six, les transformateurs, s'occupent généralement de diminuer la tension et dans certain cas moins fréquents de la monter (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Réseau électrique, Niveaux de réseau*, s. d.).

Niveau	1	2	3	4	5	6	7
Appellation	Très haute tension		Haute tension		Moyenne tension		Basse tension
Voltage	380 kV ou 220 kV	à	36 kV à 150 kV	à	1 kV à 36 kV	à	< 1kV

**Tableau 3 : Niveaux du réseau électrique**

Tableau de l'auteur avec les données de Swissgrid, <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/power-grid/grid-levels.html>



**Figure 3 : Niveaux de réseau électrique**

Tiré en mars 2023, de Swissgrid, <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/power-grid/grid-levels.html>

Le courant du réseau de transport est alternatif pour différentes raisons. Il est plus facile à transformer et provoque moins de perte lors des changements de tension. La construction de générateurs à rotation, appelés alternateurs, est plus simple et ces derniers permettent un meilleur rendement. De plus, ils possèdent une plus grande facilité de coupure car le courant passe régulièrement à zéro durant la périodicité, alors qu'un arc électrique à tendance à subsister en courant continu (De Mey, s. d.).

Il existe dans certains cas du courant continu à haute tension, abrégé HVDC. Il est utile pour le transport avec des câbles enterrés ou sous-marins de plus de 100km (*Courant continu haute tension*, 2023). Contrairement aux lignes aériennes où l'air est un très bon isolant, ces câbles subiraient trop de perturbations en courant alternatif. Il pourrait en résulter un décalage entre la tension et l'intensité, ce qui générerait de la puissance réactive. Cette dernière n'est pas de l'énergie pouvant être convertie en travail ou en chaleur (Lalanne, 2022). Cette puissance particulière ne sera pas plus détaillée, plus d'informations sont disponibles dans l'Annexe III : Note Power Flow par Julian Fritzsch.

### 1.1.3. L'ÉQUILIBRE FRAGILE DU RÉSEAU

En plus de cette nécessité de transformer la tension, la gestion d'un réseau électrique rencontre également un autre défi : l'équilibre. La consommation et la production électrique d'un réseau doivent être équilibrées constamment, suivant les besoins en temps réel de la population, des entreprises et des transports, tout en prenant aussi en compte les possibles pannes ou pénuries des générateurs. Il n'est pas possible d'isoler cela à la Suisse, car toute l'Europe est connectée dans un vaste réseau traversant les frontières. Plus de 40 lignes connectent la Suisse à ses voisins au niveau électrique (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Gestion, Stabilité du réseau*, s. d.). Le stockage d'énergie électrique n'est pas impossible mais nécessite d'autres implications qui ne seront pas détaillées ici.

Le besoin de garder l'équilibre en temps réel de la production et la consommation est nécessaire pour maintenir une fréquence stable. Si la production dépasse la consommation, la fréquence monte. Cela est dû à la vitesse de rotation des générateurs électriques : ils tournent plus lentement quand la demande augmente et plus vite lorsque que la consommation est plus faible. Une instabilité de cette valeur perturberait la mesure du temps des horloges se basant sur la fréquence du réseau (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Gestion, Fréquence*, s. d.). Une augmentation accélérerait la mesure du temps et une diminution la ralentirait. De plus, certaines grosses machines électriques pourraient subir des dommages avec une fréquence inadaptée ou un changement rapide (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Gestion, Fréquence*, s. d.).

La planification du réseau est faite bien à l'avance. Plus d'un an au préalable, l'état du réseau attendu est modélisé en prenant compte des révisions et réparations prévues sur les installations, centrales et lignes, ainsi que leurs impacts sur la capacité de transport. Cette estimation est peaufinée régulièrement : un mois, une semaine, deux jours avant l'exploitation. La capacité transfrontalière pour permettre l'échange d'électricité est calculée deux jours avant. La veille, la planification est précisée en fonction des informations venant des estimations des centrales et des négociants d'électricité (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Gestion, Planification de l'exploitation du réseau*, s. d.).

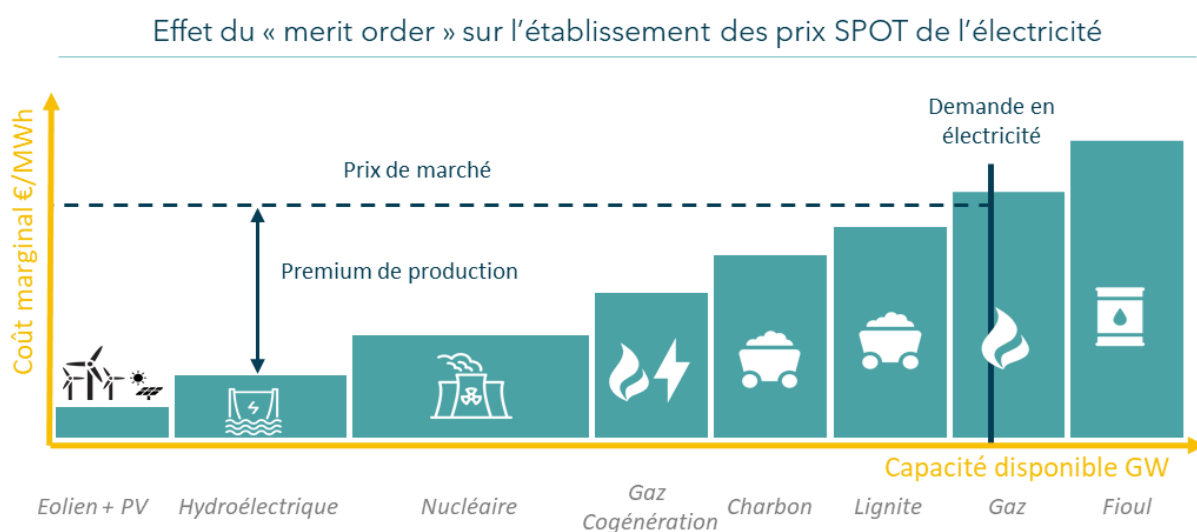
Malgré tout, des imprévus peuvent survenir. Pour les contrer, il existe des centrales avec de l'énergie en réserve, permettant un ajustement à court terme. Cette énergie s'appelle l'énergie de réglage (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Gestion, Stabilité du réseau*, s. d.).

Le réseau doit également être protégé des charges trop élevées. Les lignes et les transformateurs ont des caractéristiques physiques qui limitent la quantité d'énergie qu'ils peuvent transporter. Pour éviter une surcharge sur une ligne, les opérateurs responsables du réseau utilisent des manœuvres de couplage pour dévier les flux problématiques. Ils peuvent également intervenir sur le redispatch, « nouvelle répartition », en demandant à certaines centrales de produire moins et d'autres d'augmenter leur injection pour répartir la même quantité d'énergie de façon géographique différente (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Gestion, Stabilité du réseau*, s. d.).

#### 1.1.4. ORDRE DE MÉRITE

Pour choisir quels types de centrale de production d'électricité vont être utilisés, il existe un moyen de classer les sources d'énergie à disposition : l'ordre de mérite, appelé aussi ordre de préséance économique ou merit order en anglais.

Les énergies sont classées selon le coût marginal, qui inclut le prix du combustible et une taxe proportionnelle à la quantité de CO<sub>2</sub> émise, de la moins chère à la plus chère. La capacité de production de chaque source doit être connue. Tout cela est placé dans un graphique à barres avec la capacité sur l'axe horizontal et le prix sur l'axe vertical. La demande doit être indiquée sur l'axe de la capacité disponible.



**Figure 4 : Graphique de l'ordre de mérite**

Le mécanisme de « merit order » pour la production d'électricité, par AceEnergie, 24 février 2022, de <https://www.aceenergie.com/article/le-mecanisme-de-merit-order-pour-la-production-deelectricite>

L'ordre est généralement le suivant : le solaire et l'éolien en premier car ils n'ont pas de carburant ni de taxe CO<sub>2</sub>, ensuite le nucléaire avec un prix de l'uranium assez bas et l'hydraulique en fonction de la disponibilité de l'eau. En dernier, les énergies fossiles s'échangent leur place régulièrement selon les cours de marchés (Le Monde, 2023).

Avec ce modèle, c'est le prix de l'énergie la plus chère nécessaire pour couvrir la demande qui fixe le prix du marché. Cela permet de s'assurer que l'offre puisse répondre à la demande. Une fois injectés, il n'est pas possible de différencier les types d'électricité. Mais en les classant comme cela, le meilleur prix possible est obtenu et les énergies vertes sont privilégiées. Plus les énergies fossiles sont chères, plus les autres dégagent du profit et ainsi rentabilisent leurs coûts d'installation. (Le Monde, 2023)

Cependant, ce système est assez critiqué depuis la hausse du prix du gaz liée à la guerre en Ukraine. Le gaz, servant en partie à créer de l'électricité, est la dernière source énergie nécessaire pour couvrir la demande. Cette augmentation a par conséquent impacté de manière conséquente les prix généraux de l'électricité en Europe, malgré la part de marché non majoritaire du gaz (Le Monde, 2023).

Sur le schéma, le terme SPOT fait référence au marché à court terme, s'opposant au marché à terme où les prix ont été fixé à l'avance par contrats (Versavaud, 2022).

#### 1.1.5. CONTEXTE LÉGAL SUISSE

En 2007, la Suisse a voté pour la Stratégie énergétique 2050. Les mesures conséquentes s'organisent en quatre points :

- efficacité énergétique : l'amélioration d'utilisation de l'énergie en réduisant la consommation des bâtiments, transport et appareils électriques ;
- énergies renouvelables : la promotion des énergies renouvelables indigènes telles que l'hydraulique, le solaire, le bois, la biomasse, l'éolien et la géothermie ;
- sortie du nucléaire : l'interdiction de construction de nouvelles centrales pour une sortie progressive du nucléaire ;
- mesures dans le domaine des réseaux électriques : l'accélération des procédures juridiques permettant l'adaptation du réseau de lignes aux nouveaux besoins  
(DETEC - *Stratégie énergétique 2050*, s. d.).

Cette stratégie induit la modification et révision de plusieurs lois : Loi sur l'énergie, Loi sur les installations électriques, Lois sur l'approvisionnement en électricité et Loi sur le CO<sub>2</sub>.

La plus pertinente à approfondir ici est la révision de la Loi sur l'approvisionnement en électricité. Cette révision vise l'ouverture complète du marché de l'électricité, en lien avec la Loi sur l'énergie. « Celle-ci devra comprendre, à titre de mesures d'accompagnement dans le cadre de l'ouverture du marché, de meilleures incitations à investir dans les énergies renouvelables indigènes, ce qui permettra aussi de renforcer la sécurité de l'approvisionnement. » (OFEN - *Qu'est-ce que la Stratégie énergétique 2050?*, 2020)

Plus récemment, le 18 juin 2023, la Suisse a voté pour la Loi sur le climat et l'innovation. Cette votation est le contre-projet de l'initiative populaire « Pour un climat sain (initiative pour les glaciers) » et repose sur deux mesures. La première est le soutien économique au remplacement des chauffages au mazout, à gaz ou à l'électricité. La seconde traite du soutien économique aux entreprises artisanales et industrielles qui utilisent des technologies innovantes à des fins de production ménageant le climat. (OFEV - *Loi sur le climat et l'innovation: votation populaire le 18 juin 2023*, 2023).

#### 1.1.6. IMPACT DE LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE SUR LE RÉSEAU

Il est clair que la Suisse et plus généralement l'Europe, se tournent vers les énergies renouvelables pour remplacer les énergies fossiles et nucléaire. Dans ce contexte, il est important de connaître les impacts que celles-ci auront sur le réseau électrique européen. Une grande partie des énergies renouvelables se différencient des énergies des centrales thermiques traditionnelles par leurs apports variables. Ces énergies vertes, telles que le solaire ou l'éolien, sont dites sources d'énergie intermittente, abrégé EnRi. Elles peuvent être régulières, comme l'énergie marémotrice, assez irrégulières, comme éolien, ou partielles, comme le solaire (*Source d'énergie intermittente*, 2023). Les EnRi posent deux grands risques : leur variabilité non pilotable et les changements de fréquence et de tension qui en découlent. Ces dangers sont réellement importants à partir de 20-30 % de part d'énergie annuelle (Finon, 2022).

Pour contrer cela, les opérateurs utilisent de l'énergie de réglage pour répondre à des fluctuations imprévues (*Swissgrid - Exploitation du réseau, Gestion, Stabilité du réseau*, s. d.). Mais les moyens de réaction doivent devenir plus importants plus la part d'imprévisibilité augmente. Ces méthodes comprennent :

- le stockage, comme les batteries ou les stations de transfert d'énergie par pompage;
- les effacements à grande échelle, comme le pilotage des recharges de véhicules électriques ;
- le power-to-gas, qui est la production de carburant gazeux à partir du surplus d'énergie, comme par exemple de la création d'hydrogène avec de l'électrolyse qui est ensuite transformé en méthane (*Power-to-gas*, 2023) ;
- l'augmentation des connexions sur le réseau (Finon, 2022).



## 1.2. ELECTRICAL ENERGY EFFICIENCY GROUP

Le contexte énergétique présenté juste au-dessus démontre que le réseau électrique européen est voué à énormément évoluer ces prochaines années et cela explique pourquoi des entités, telles que l'équipe du professeur Philippe Jacquod, travaillent à analyser les scénarios futurs.

### 1.2.1. ÉQUIPE

Philippe Jacquod est le professeur du Electrical Energy Efficiency Group, le GEEE, de l'institut de recherche Énergie et environnement de la HES-SO Valais Wallis. Son laboratoire de recherche est composé de Marc Gillioz, associé académique sénior, et plusieurs étudiants doctorants. Le bureau se trouve sur le campus Energypolis de Sion (*Electrical Energy Efficiency Group, s. d.*).

Le contact principal au sein de l'équipe pour ce travail de Bachelor est Julian Fritzscht. Il est doctorant en physique dans l'équipe depuis trois ans et a participé à la rédaction d'au moins quatre publications au sein de l'équipe, telles que « Toward Model Reduction for Power System Transients With Physics-Informed PDE » ou « Long Wavelength Coherency in Well Connected Electric Power Networks », publiés en 2022.

Laurent Pagnier, ancien étudiant doctorant du GEEE, a mis en place le modèle PanTaGruEL, présenté ci-après, durant son doctorat. Il travaille aujourd'hui principalement à l'Université d'Arizona (*Department of Mathematics, s. d.*). Il a participé à l'écriture du papier « Optimal Placement of Inertia and Primary Control in High Voltage Power Grid » en 2019 et plus récemment « Toward Model Reduction for Power System Transients With Physics-Informed PDE ».

### 1.2.2. POWER FLOW

Il est possible de stocker de l'énergie mais cela provoque des pertes, causées par la transformation. Cela explique en partie pourquoi les opérateurs des réseaux essaient de s'adapter en temps réel aux pics de consommation et aux phases calmes. Le transport doit respecter les contraintes des lignes afin de ne pas les voir se déformer sous l'effet de la chaleur et provoquer des courts-circuits.

Le GEEE travaille avec des équations différentielles afin de résoudre des modèles ayant les contraintes ci-dessus. Cette analyse numérique de flux d'énergie électrique dans un système interconnecté est appelée l'étude du power flow, abrégé PF, flux de puissance en français (*Power-flow study, 2023*). La résolution de ces équations permet de connaître la puissance circulant entre les bus et si la limite des lignes est dépassée. Ce champ d'étude est complété par l'optimal power flow, abrégé OPF. Un OPF permet d'avoir le modèle de génération avec le meilleur rendement économique possible, en connaissant la consommation à chaque nœud et tout en respectant la limite de charge des lignes.

### 1.2.3. PANTAGRUÉL

PanTaGruEL, abréviation de Pan-European Transmission Grid and Electricity generation model, est un modèle de réseau dynamique conçu pour étudier la propagation des perturbations dans le réseau de transport d'Europe continentale, créé par le GEEE (Pagnier & Jacquod, 2019). Les fonctionnalités sont les suivantes :

- distribution précise des demandes nationales aux bus du réseau ;
- paramètres électriques réalistes des lignes de transmission ;
- répartition économique des générateurs basée sur l'ordre de mérite ;
- paramètres dynamiques des générateurs et des charges pour les études de stabilité transitoire (Pagnier & Jacquod, 2019).

Il a été réalisé par Laurent Pagnier et le professeur Philippe Jacquod en 2019 avec MatLab. Il y a deux ans, Laurent Pagnier a recréé le modèle avec le langage de programmation Julia : <https://github.com/laurentpagnier/PanTaGruEL.jl>. C'est cette version qui est améliorée aujourd'hui par Julian Fritzsich.

Les fonctionnalités peuvent se résumer en deux points. Il répartit la consommation électrique d'un pays en fonction de la population à chaque nœud d'un *grid*<sup>2</sup>, réseau électrique en français : cela est appelé désagrégation sur la base de la population. Ensuite, il détermine quels éléments du réseau vont être utilisés et à quel pourcentage, au moyen du power flow.

Les données du *grid* proviennent principalement de l'ENTSOE : <https://www.entsoe.eu/data/map/>. La consommation électrique par pays est également fournie par l'ENTSOE par tranche de 15 minutes : <https://transparency.entsoe.eu/load-domain/r2/totalLoadR2/show>. Mais ces données sont incomplètes et doivent être nettoyées avant d'être utilisées. Pour le développement de l'application, Julian Fritzsich a préparé les données de la période entre le 1<sup>e</sup> janvier 2015 et le 28 février 2023.

Le modèle fournit les données dans un format étendu de Matpower. Les détails de ce format sont accessibles dans l'annexe B de leur manuel : <https://matpower.org/docs/MATPOWER-manual.pdf> (Pagnier & Jacquod, 2019). Pour la version Julia, cela dépend du package PowerModels.jl. Le format des données sera décrit au point 3.3.3

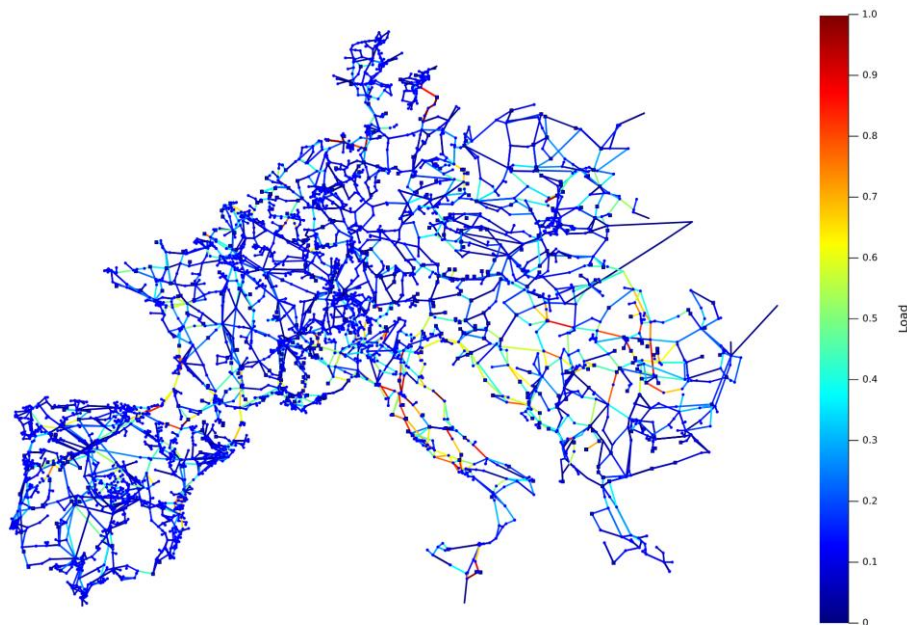
Format des données de sorties de l'API.

---

<sup>2</sup> Le mot *grid*, ainsi que les autres mots anglais propres aux données de PanTaGruEL, seront mis en italique dans la suite du rapport afin les distinguer.

Les modèles, Matlab et Julia, ne sont pas encore capables de faire de réelles simulations avec le courant alternatif car la résolution des équations avec la puissance réactive est plus complexe. Les *grids* fournis sont donc une simulation avec de la puissance active.

L'équipe du GEEE a également créé un script permettant de créer un SVG depuis le *grid* généré par PanTaGruEl et d'exporter une visualisation du réseau.



**Figure 5 : Visualisation d'un modèle PanTaGruEl exporté par l'équipe GEEE**

Tiré de Loads on the lines using the load distribution from September 17, 2021 at 6 o'clock, par J. Fritzsch, GitHub/julianfritzsch/pantagruel-frontend, <https://github.com/julianfritzsch/pantagruel-frontend/blob/main/figs/entsoe.pdf>

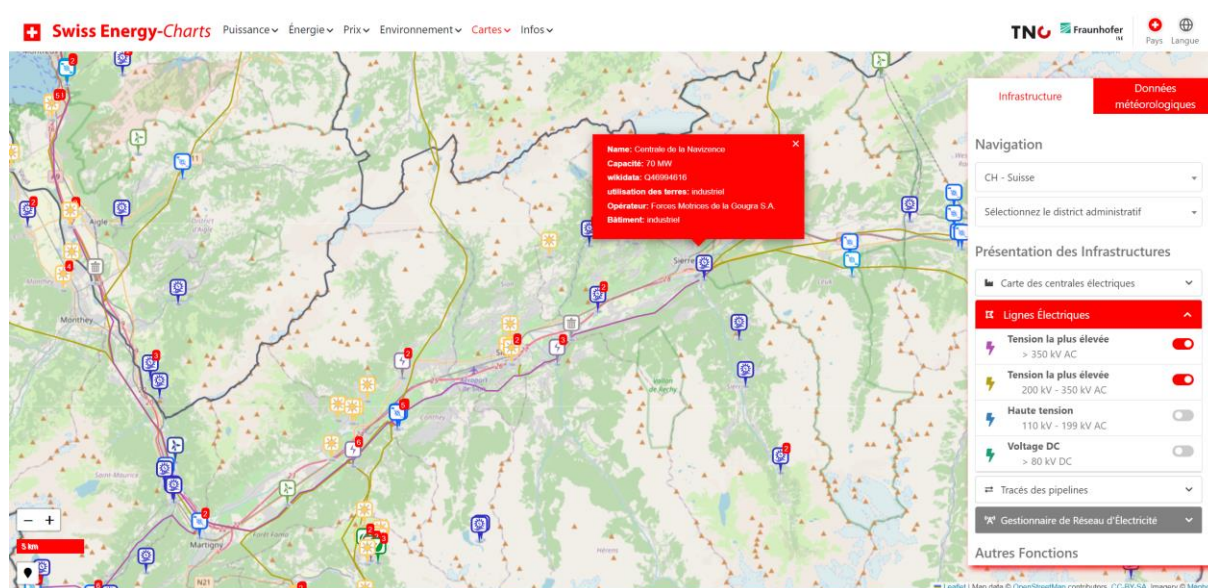
Julian Fritzsch a donné accès au modèle au travers d'une interface de programmation applicative, abrégée API : <https://github.com/julianfritzsch/NetworkServer.jl>. Le guide pour l'utiliser se trouve sur un autre répertoire Git : <https://github.com/julianfritzsch/pantagruel-frontend>. Ce code utilise la version en Julia de PanTaGruEl (Pagnier, 2023a) et PSOP (Pagnier, 2023b) créés par Laurent Pagnier. Deux solveurs sont intégrés, Gurobi qui est payant et très rapide et IPOPT en cas de nonaccès à une licence mais qui est plus lent. L'API sera décrite plus précisément dans le point 3.3 API.

## 2. ETAT DE L'ART

Bien que le modèle PanTaGruEl soit spécifique et n'est donc pas existant sur des sites déjà publiés, il est nécessaire de regarder les ressources à disposition. Cette analyse permettra de s'inspirer des designs et des technologies, d'identifier les faiblesses ou d'évaluer une potentielle intégration.

### 2.1. ENERGY-CHARTS

Le site Energy-Charts <https://www.energy-charts.info/map/map.htm>, et sa version suisse <https://www.energy-charts.info/map/map.htm?country=CH&l=fr&c=CH> sont au premier chargement très prometteurs. Ils proposent des fonctionnalités intéressantes, comme l'affichage des centrales électriques par type et des lignes par voltage, ou encore le choix entre l'Europe ou un pays spécifique. Cependant, malgré le fait qu'il n'affiche que les premières 10 000 centrales, un problème de performance peut être constaté. L'onglet « Données météorologiques » propose de choisir un mois et une année afin d'avoir les informations temporelles passées de rayonnement solaire, de température ou encore relatives aux éoliennes. La bibliothèque utilisée pour la carte est Leaflet.



**Figure 6 : Capture d'écran du site Swiss Energy-Charts**  
Capturé en mars 2023, de Swiss Energy-Charts, <https://www.energy-charts.info/map/map.htm?l=fr&c=CH>

## 2.2. ELECTRICITY MAPS

Electricity maps, <https://app.electricitymaps.com/>, est une visualisation en temps réel et historique de l'intensité du gaz à effet de serre, en termes d'équivalent CO<sub>2</sub>, de la production et de la consommation d'électricité dans le monde (*Electricity Maps*, 2023). L'application est avancée : choix entre consommation ou production, informations principales dans un popup au survol de la souris, panneau latéral avec plus de détails ou encore barre de défilement pour le choix de la date. Les données sont disponibles par pays ou par zone, aucun point précis ou ligne droite n'est tracé sur la carte.

Il est écrit en TypeScript pour le frontend et en Python pour le backend. De nombreuses bibliothèques sont utilisées telles que Poetry pour Python et Turf, NPM ou encore React pour le frontend.

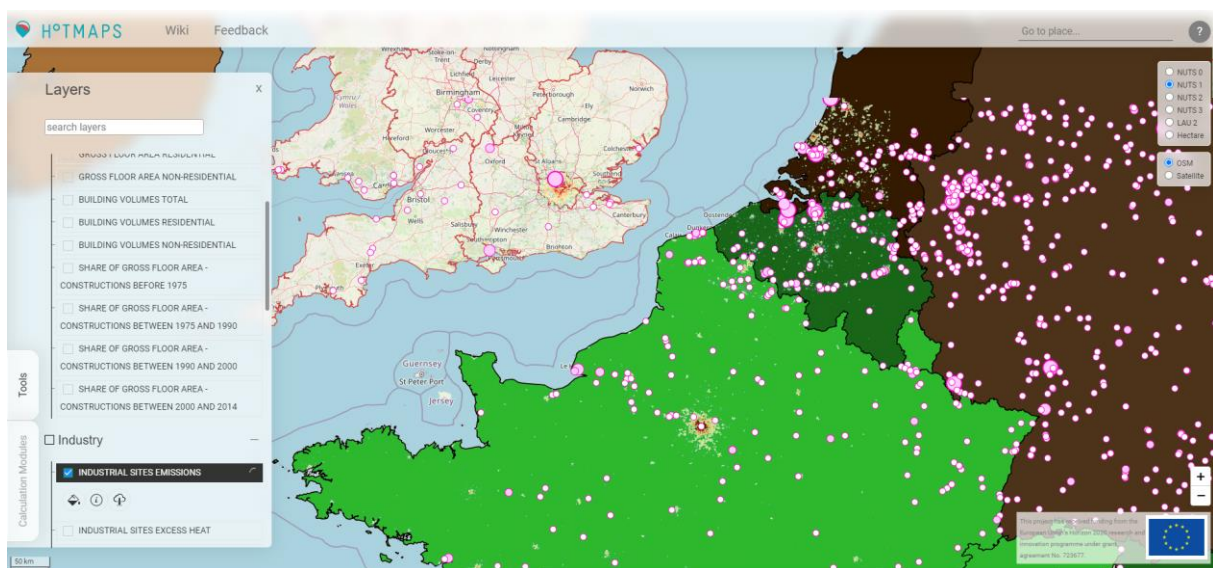


Figure 7 : Capture d'écran du site Electricity Maps  
Capturé en mars 2023, de Electricity maps, <https://app.electricitymaps.com/map>



## 2.3. HOTMAPS

Hotmaps, <http://www.hotmaps.eu/>, est un projet européen visant à mettre en place une boîte à outils open source de cartographie et de planification du chauffage/refroidissement, ainsi que de fournir des données par défaut pour l'UE28 aux niveaux national et local (*Hotmaps Toolbox*, s. d.). La carte permet d'afficher de nombreuses couches avec des affichages différents, tels des zones, des dégradés de couleur ou des points, et intègre des « calculations modules ». Ce sont des fonctionnalités de calcul travaillant avec des appels à des APIs, qui requièrent des paramètres d'entrée que l'utilisateur peut choisir. Le professeur David Wannier étant responsable de ce projet, la possibilité d'intégration sera analysée et détaillée plus loin dans ce travail. La bibliothèque pour la carte utilisée est également Leaflet.



**Figure 8 : Application Hotmaps avec trois couches affichées (industrial sites emissions, population total, electricity CO2 emissions - country average)**  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps Cloud, <https://www.hotmapsccloud.hevs.ch/map>

## 2.4. CAPARÉSEAU

Le site CAPARÉSEAU, <https://www.capareseau.fr/>, propose une carte de la France avec les possibilités de raccordement des installations de production d'électricité aux réseaux de transport et de distribution (CAPARÉSEAU, s. d.). Six types de lignes sont théoriquement affichées : 45 kV ou moins, 53 kV, 90 kV, 150 kV, 225 kV et 400 kV.

Mais durant les 20 premières secondes, aucune n'est visible. Après ce chargement non identifiable, les lignes sont affichées, mais de façon chaotique. Parfois toutes apparaissent, parfois uniquement celles des deux niveaux les plus hauts. La carte propose deux points avec lesquels il est possible d'interagir. Au survol, un popup donne les informations principales et au clic, un panneau latéral s'ouvre avec des informations complémentaires. Le zoom avec la souris impacte parfois la page entière alors que le comportement attendu concerne uniquement la carte. De plus la curseur clignote parfois comme si le navigateur essayait de sélectionner plusieurs éléments en même temps.

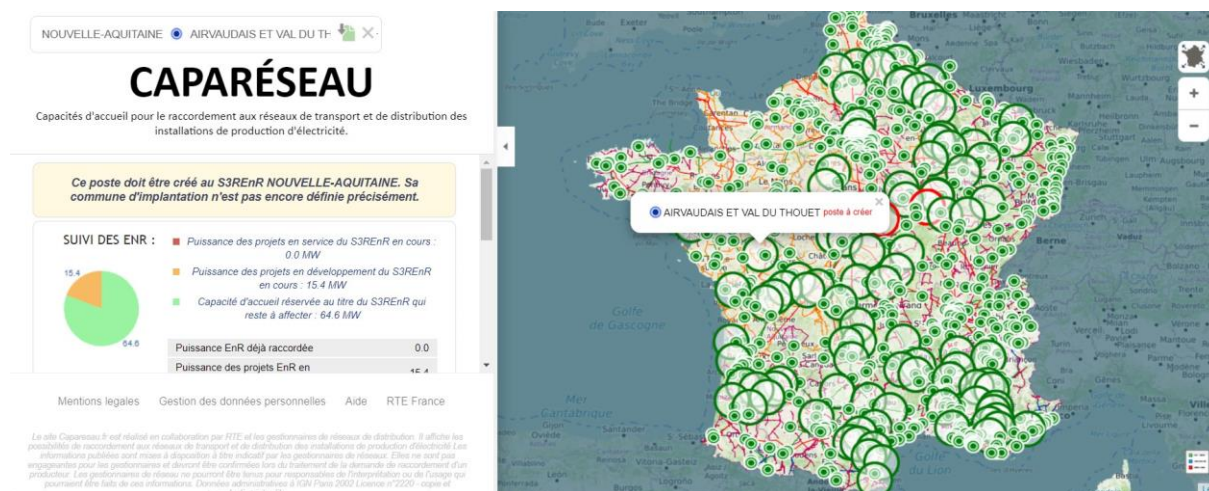


Figure 9 : Capture d'écran du site CAPARÉSEAU  
Capturé en juillet 2023, de CAPARÉSEAU, <https://www.capareseau.fr/>

## 2.5. ÉCO<sub>2</sub>MIX

Le site du gestionnaire du réseau de transport d'électricité français propose sur son outil éco<sub>2</sub>mix, <https://www.rte-france.com/eco2mix>, de nombreuses données concernant la France, telles que la consommation et la production d'électricité par filière, sous forme de graphiques principalement. Pour l'Europe, il n'existe que les données du marché. Le prix au MWh est donné pour tout le pays. La carte sur le côté du graphique sert à colorer l'entièreté du pays selon le coût. Le site est réactif et offre de bonnes possibilités d'interactions. Par exemple, il est possible de cliquer sur la légende pour mettre en évidence les informations d'un graphique. L'iconographie sur la carte change également en fonction du survol ou du clic sur le graphique. Une fonctionnalité intéressante est la comparaison de différentes périodes.

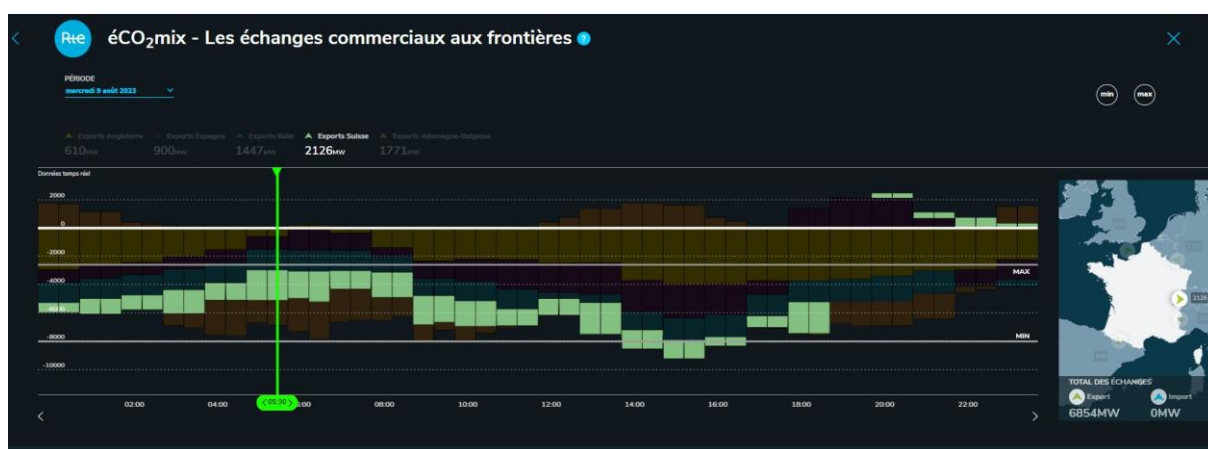


Figure 10 : Capture d'écran du site RTE montrant les échanges commerciaux aux frontières entre la Suisse et la France le mercredi 9 août 2023

Capturé en août 2023, de RTE, <https://www.rte-france.com/eco2mix/les-echanges-commerciaux-aux-frontieres>



Figure 11 : Capture d'écran du site RTE montrant la comparaison des prix au MWh en Europe de l'Ouest entre le 9 juin et 4 août 2023

Capturé en juin 2023, de RTE, <https://www.rte-france.com/eco2mix/les-donnees-de-marche#>



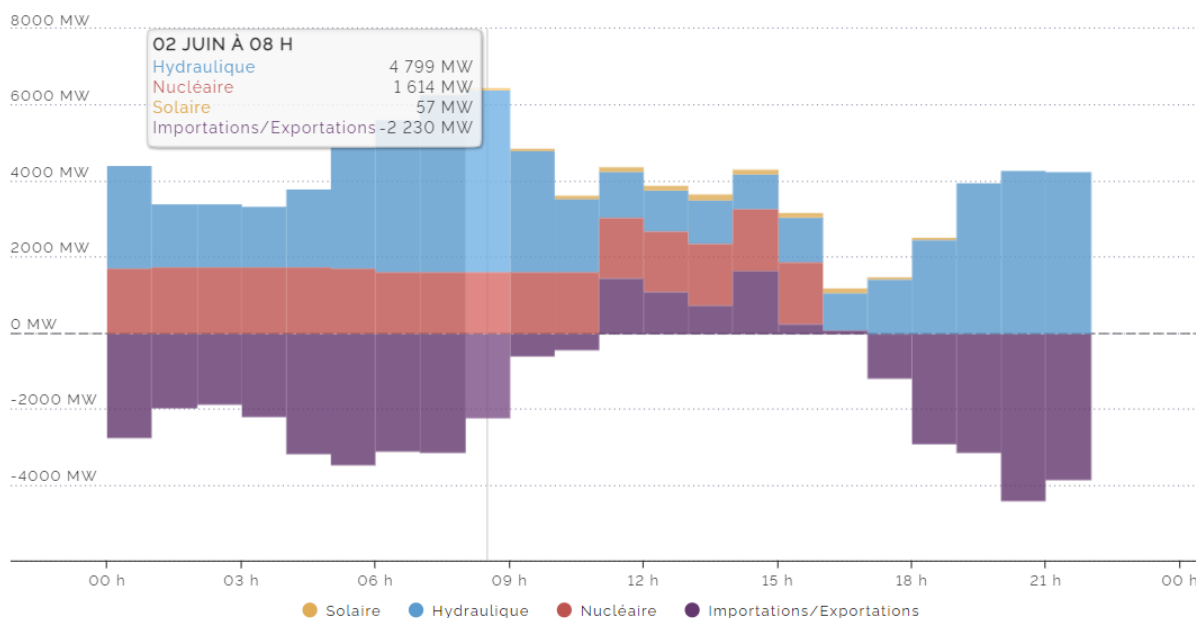
## 2.6. LE TEMPS

Au niveau suisse, le journal Le Temps propose différents graphiques concernant la consommation et la production d'électricité en temps réel (Nguyen, 2023) : <https://labs.letemps.ch/interactive/2022/elec/>. Les données proviennent de la Transparency Platform de l'ENTSO-E, association européenne pour la collaboration pour la coopération des gestionnaires de réseau de transport d'électricité, source de données également utilisée par PanTaGruEL. Cela montre qu'un accès en temps réel est possible.

Le site ne proposant pas de carte, aucune analyse plus poussée n'est nécessaire.

### Par source

Retrouvez les explications sur la production d'électricité en Suisse dans notre article: [En Suisse, une production électrique sous tension](#)



Source: [ENTSO-E Transparency Platform](#)

Si les données de production de l'énergie solaire ne sont pas disponibles, les prévisions faites la veille sont utilisées.

**Figure 12 : Graphique des sources de production électrique sur une journée**  
Tiré de La production d'électricité aujourd'hui par source, juin 2023, LE TEMPS,  
<https://labs.letemps.ch/interactive/2022/elec/>

## 2.7. SWISSGRID

Sur la page d'accueil du site de Swissgrid, [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch), il existe une petite carte qui affiche les lignes de 220 kV et 380 kV avec des informations supplémentaires lors du clic. La carte utilisée est celle de Google. Par défaut, les options de Google sont intégrées, comme le changement de fond de carte, plan ou satellite, et Open Street View. Cette fonctionnalité n'a que peu d'intérêt dans ce cas et aurait dû être désactivée car l'affichage est entièrement noir une fois le personnage orange lâché sur la carte.

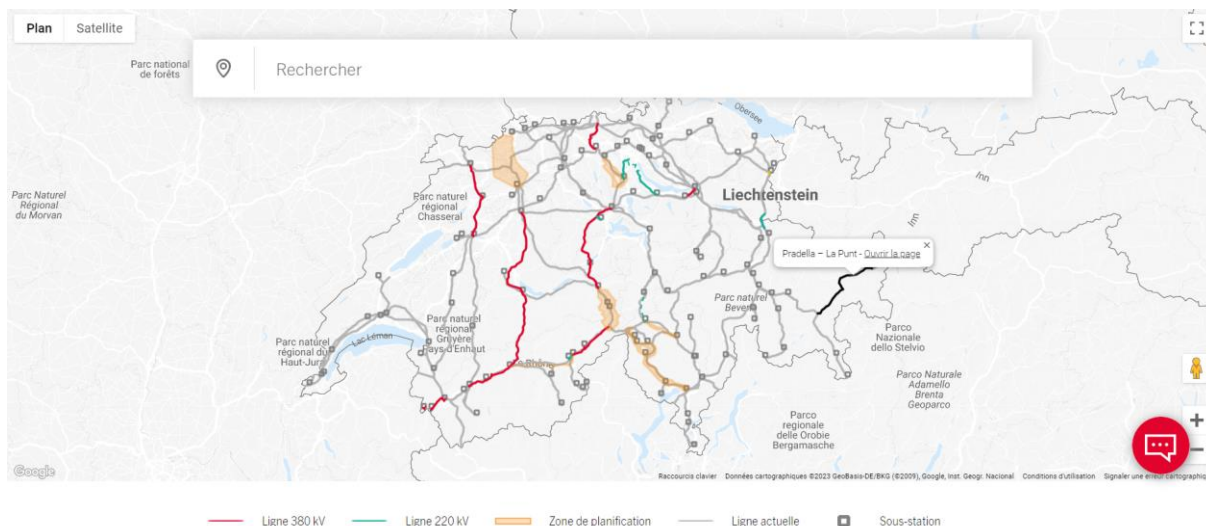


Figure 13 : Carte des lignes à très haute tension de suisse  
Capturé en juin 2023, de Swissgrid, [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch)

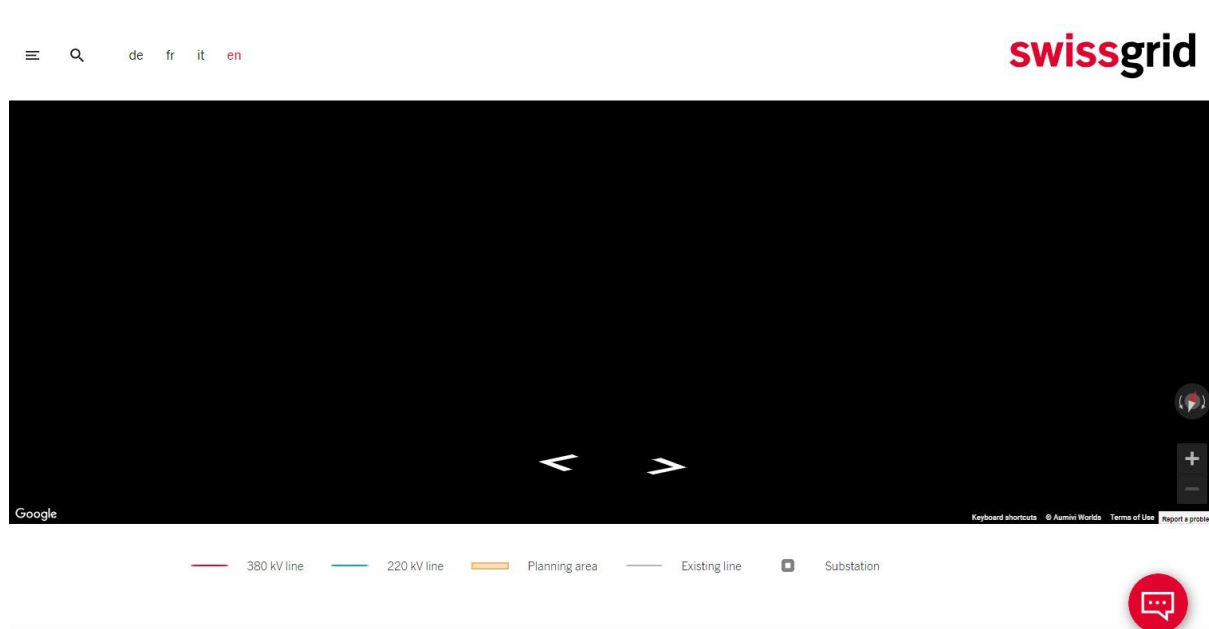


Figure 14 : Bug d'Open Street View sur le site Swissgrid  
Capturé en août 2023, de Swissgrid, [www.swissgrid.ch](http://www.swissgrid.ch)

## 2.8. OFEN

L'office fédérale de l'énergie, OFEN, met à disposition sur [map.geo.admin.ch](https://map.geo.admin.ch), <https://map.geo.admin.ch/?layers=ch.bfe.elektrizitaetsproduktionsanlagen>, une couche pour les installations de production électrique. La carte est réactive et le clic sur un point permet d'accéder à de nombreuses informations. Si le clic se fait dans une zone dense en usines de production électrique, plusieurs éléments sont sélectionnés et affichés dans un popup scrollable.

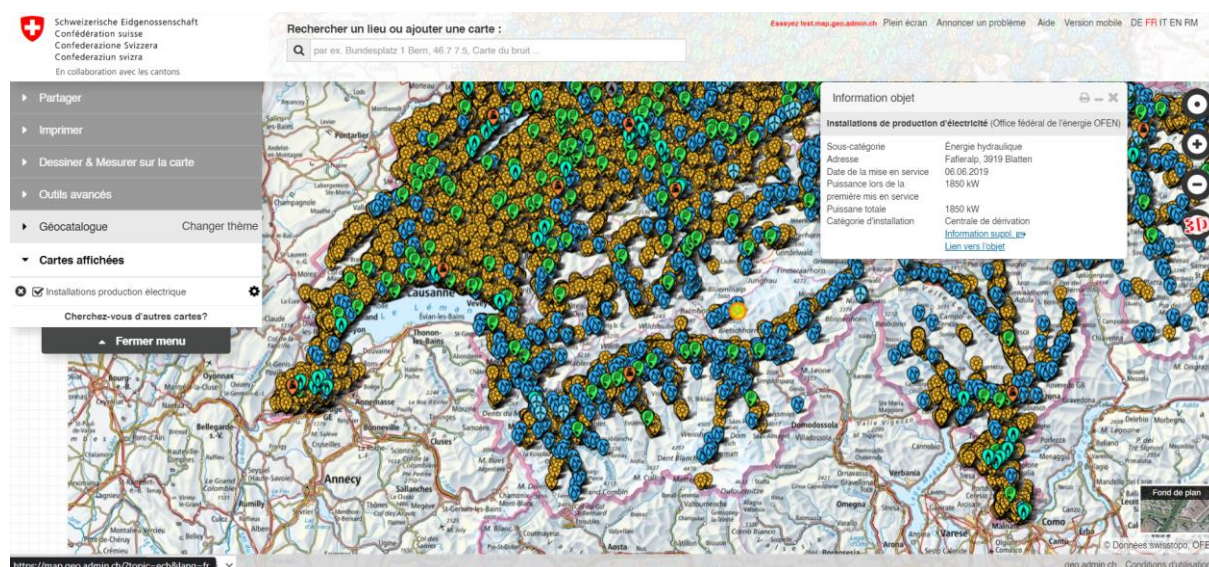


Figure 15 : Installations de production électrique avec les données de l'OFEN  
Capturé en mars 2023, d'admin.ch, <https://map.geo.admin.ch/?layers=ch.bfe.elektrizitaetsproduktionsanlagen>

Sur la page « Installations de production d'électricité en Suisse » de leur site, des graphiques et des cartes peuvent également être consultés : [https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/EE\\_Elektrizitaetsproduktionsanlagen](https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/EE_Elektrizitaetsproduktionsanlagen)

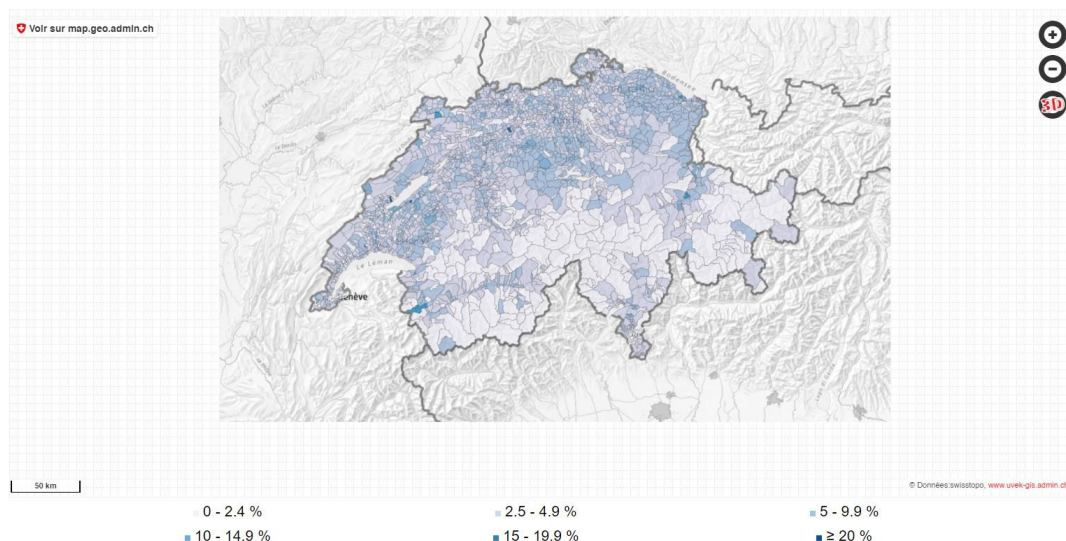


Figure 16 : Carte du développement du photovoltaïque au niveau communal de l'OFEN  
Capturé en août 2023, du site de l'OFEN, [https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/EE\\_Elektrizitaetsproduktionsanlagen/?lang=fr](https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/storymaps/EE_Elektrizitaetsproduktionsanlagen/?lang=fr)

## 2.9. ANALYSE DES SITES

	Fond de carte	Carte avec ...	Pays
<b>Energy-Charts</b>	Openstreetmap avec Leaflet	- Production - Lignes (>80 kV) Mais très lent	Europe et UE
<b>Electricity maps</b>	?	Intensité carbone par pays	Europe et plus
<b>Hotmaps</b>	Openstreetmap avec Leaflet	Données de zone principalement (sauf pour « Industry »)	Europe
<b>CAPRÉSEAU</b>	Openstreetmap avec Leaflet	Possibilités de raccordement et lignes	France
<b>éCO2mix</b>	Pas de carte	-	France
<b>Le Temps</b>	Pas de carte	-	Suisse
<b>Swissgrid</b>	Google	Lignes (>220 kV)	Suisse
<b>OFEN</b>	Swisstoppo	Production Développement du photovoltaïque	Suisse

Tableau 4 : Récapitulation des sites existants  
Source de l'auteur

### 3. ÉTUDE DE CAS

Nous avons maintenant une compréhension générale du réseau électrique européen, une vision du travail du GEEE et des sites existants. Le prochain chapitre est un descriptif plus approfondi du cas afin d'effectuer, par la suite, une analyse technologique.

#### 3.1. DESCRIPTIF

La demande du professeur Jacquod consiste en une application web dynamique et paramétrable permettant de simuler les charges variables sur le réseau électrique européen et les conséquences de celles-ci sur la stabilité. La source des données provient du modèle PanTaGruEl. Ces données concernent le niveau à très haute tension, avec des valeurs entre 132kV, 220kV, 380kV.

L'application doit principalement afficher les éléments suivants : les lignes de transport, nommées *branches* pour la suite, les générateurs, abrégés *gens*, et la consommation simulée de la population, appelé *loads*. Ces deux dernières valeurs sont liées à un *bus* qui possède des coordonnées géographiques. Ces quatre termes, *branch*, *gen*, *load* et *bus*, seront utilisés dès maintenant pour décrire les éléments des *grids*.

Bien que PanTaGruEl ne travaille pas encore avec les données nécessaires pour gérer le courant alternatif, le choix doit être offert à l'utilisateur lorsque l'API encapsulant le modèle propose cette alternative.

#### 3.2. FONCTIONNALITÉS

Les fonctionnalités de l'application se divisent en quatre epics :

- E1 : Affichage des données d'un réseau sur la carte (au format retourné par PanTaGruEl) ;
- E2 : Sélection des données à afficher (choix de la date et désactivation d'éléments visuels) ;
- E3 : Modification des données et affichage du nouveau réseau ;
- E4 : Sauvegarde et partage de scénarios.

Le survol de ces epics et les évolutions importantes sont décrites ci-dessous. Le tout est repris dans les user stories du product backlog. Ce dernier se trouve en Annexe IV : Product backlog



### 3.2.1. AFFICHAGE DES DONNÉES D'UN RÉSEAU SUR LA CARTE (E1)

La première version est une simple carte avec des *bus* et des lignes. Les possibilités d'interaction sont :

- le zoom ;
- le clic sur une ligne : informations détaillées comme les limites thermiques ;
- le clic sur *bus* : informations détaillées du *bus*, du *gen* et/ou du *load*.

Les données de ce *grid* sont au format JSON et viennent soit d'un fichier stocké avec le code soit en retour de l'appel à l'API de Julian Fritzscht sans paramètre.

Dès le premier entretien, il a été demandé que la taille des générateurs dépende de la production maximum possible. Au final, tous les éléments ont une taille en fonction d'un attribut propre. Tout cela est décrit dans les user stories du product backlog.

Dans les exports générées par le GEEE, les *gens* sont marqués par des carrés et les *loads* par des cercles (Fritzscht, 2023). Dans ces images, les lignes sont en couleur mettre en évidence la limite de capacité de celles-ci. Cette iconographie et le principe des couleurs doivent être conservés, voir page 14 Figure 5 : Visualisation d'un modèle PanTaGruEl exporté par l'équipe GEEE

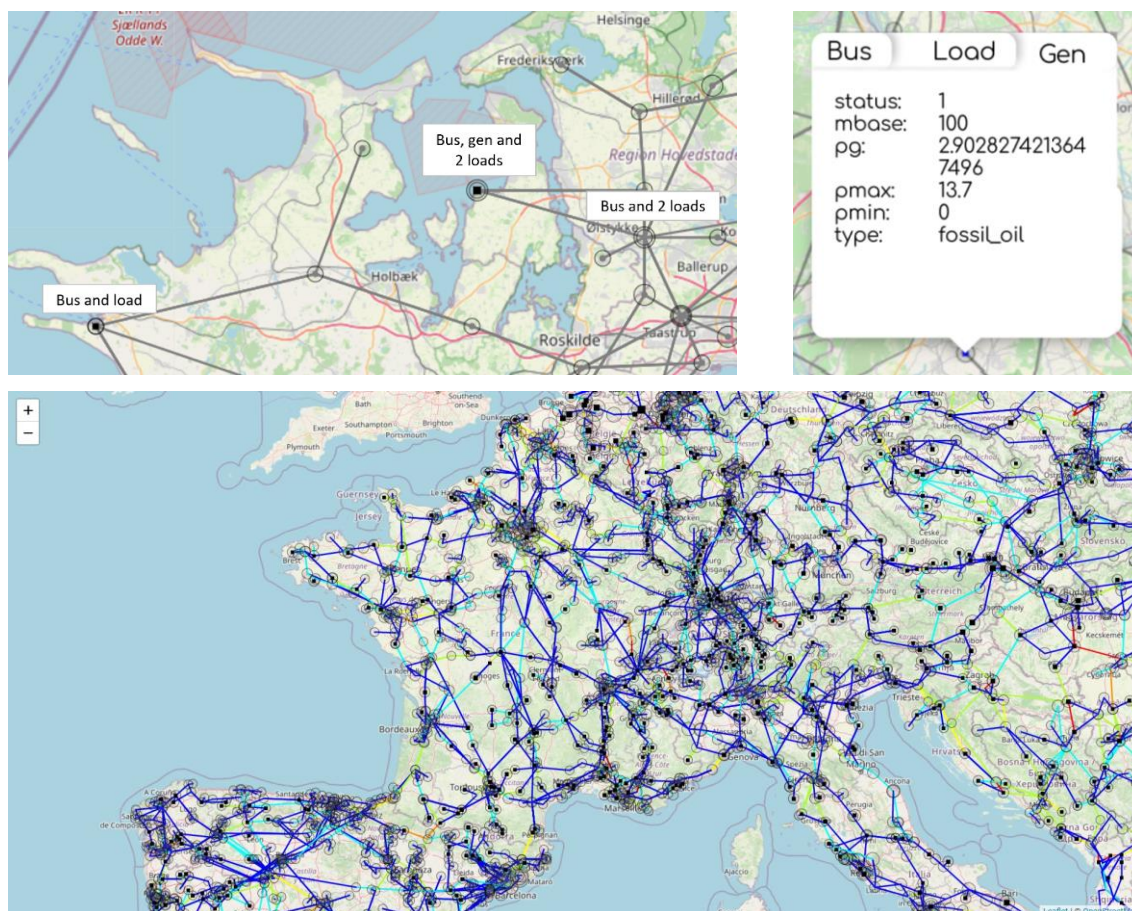


Figure 17 : Mockups "Affichage des informations"  
Source de l'auteur

Les données des *gens*, *loads*, *bus*, *branches* initialement simples se sont révélées plus complexes par plusieurs cas particuliers :

- Plusieurs *bus* peuvent avoir les mêmes coordonnées, normalement avec des voltages différents et ont des données de *load* différentes.
- Des *branches* dont le *bus* de départ et d'arrivée ont les mêmes coordonnées géographiques sont en fait des transformateurs. Ils ne sont pas visibles car la ligne se dessine en un point sous le *bus*. Une autre icône doit être affichée.
- Il peut y avoir plusieurs *gens* à un même *bus*.
- Les *branches* peuvent se superposer géographiquement, en ayant ou non les mêmes *bus* de départ et d'arrivée.
- Le sens des lignes est défini selon la valeur positive ou négative de la puissance, et non pas par le « from *bus* » et « to *bus* ».

De plus, lors du premier entretien, il a été demandé d'afficher les générateurs de couleurs différentes selon leur type. L'analyse des données révèle qu'il y a 27 types différents. Un regroupement est nécessaire afin de pouvoir différencier les couleurs. L'attribut « Category » a été ajouté pour le sprint 1 afin de se décharger de cette multitude de type.

hydro_ror	205	Waste	10
Hydro	195	Biomass	9
fossil_coal_gas	127	Oil	8
fossil_brown_lignite	101	fossil_mixed	8
fossil_oil	53	Geothermal	7
Biomass	53	hydro_pure_storage_cons	4
hydro_pure_storage	52	fossil_coal_gas_cons	3
Nuclear	42	nuclear_cons	2
hydro_pure_ps	41	hydro_mixed_cons	2
fossil_coal_hard	41	Nuclear	1
hydro_mixed	40	waste_nr	1
Gas	37	other_nrenew_cons	1
Coal	24	fossil_brown_lignite_cons	1
other_nl	14	other_nrenew	1

Tableau 5 : Types de générateurs et leur nombre d'occurrence

Tableau de l'auteur avec les données de

<https://github.com/julianfritzsche/NetworkServer.jl/blob/main/networks/pantagruel.json>

### 3.2.2. SÉLECTION DES DONNÉES À AFFICHER (E2)

Au vu de la quantité d'informations non textuelles à afficher, il a été discuté de pouvoir désactiver des options, telles que la couleur ou la taille, pour rendre la carte plus lisible.

Il doit également être possible de choisir une date et une heure, à l'heure près, afin d'afficher le réseau selon les données correspondantes de consommations par pays de l'ENTSO-E. Les données de l'ENTSO-E pouvant être incomplètes, elles ont été nettoyées par Julian Fritzsche. Les dates disponibles sont retournées par une des méthodes de l'API. Une application parallèle a été envisagée pour la récupération par FTP des données de l'ENTSO-E, le nettoyage automatique et l'ajout dans les sources de données de l'API.

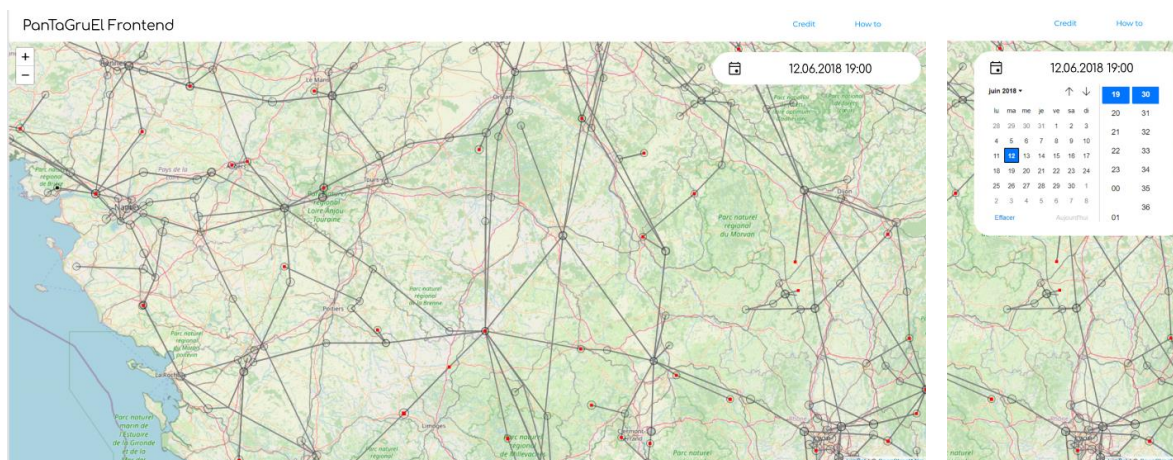


Figure 18 : Mockups du choix de la date et de l'heure  
Source de l'auteur

### 3.2.3. MODIFICATION DES DONNÉES ET AFFICHAGE DU NOUVEAU RÉSEAU (E3)

Les données doivent pouvoir être modifiées de deux manières différentes afin d'afficher le nouveau *grid*. La première est la modification à chaque élément : cela correspond à la saisie de la consommation ou la production à un *bus*. La contrainte réelle d'équilibre entre la production et la consommation est également prise en compte dans le modèle, un avertissement doit apparaître si cette balance n'est pas respectée. Les lignes et transformateurs doivent pouvoir être désactivés ou activés.

La deuxième manière est une modification plus globale concernant la consommation. Afin de simuler un changement drastique de consommation, il doit être possible de modifier la consommation des pays pour que PanTaGruEl recalcule la désagrégation sur la base de la population.



### 3.2.4. SAUVEGARDE ET PARTAGE DE SCÉNARIOS (E4)

La création d'un scénario peut inclure une grande quantité de modifications et demander un temps certain. Afin de revisualiser le scénario généré, il doit être possible de figer l'état de la carte par trois moyens :

- la sauvegarde dans un espace personnel ou le téléchargement d'un fichier, qui peut être rechargé par la suite ;
- la création d'un lien pouvant être envoyé à n'importe qui ;
- l'export d'une image, avec ou sans le fond de carte, hors cadre non compris.

Les deux premiers cas permettent de réafficher une carte entière en s'économisant le temps de chargement du solveur. Ce cas est particulièrement intéressant lors du partage à une personne n'ayant pas d'accès à une licence Gurobi et donc devrait attendre sur le temps de chargement plus long de IPOPT.



Après le chargement et la compilation des sources effectués, l'API peut être lancée au moyen des commandes « `julia` », « `using NetworkServer` » et ensuite « `start_server()` ».

```
PS D:\HES-Bachelor\NetworkServer.jl> julia

Documentation: https://docs.julialang.org
Type "?" for help, "]"? for pkg help.
Version 1.8.5 (2023-01-08)
Official https://julialang.org/ release

julia> using NetworkServer

julia> start_server()

[ Info: ✓ Started server: http://127.0.0.1:8080
[ Info: Documentation: http://127.0.0.1:8080/docs
[ Info: Listening on: 127.0.0.1:8080, thread id: 1
[ Info: 2023-04-30T11:35:41 - 127.0.0.1:58791 - "GET /networks/pantagruel HTTP/1.1" 200
```

Figure 22 : Commandes de lancement de l'API en Julia  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

### 3.3.2. FONCTIONNEMENT

L'API possède 11 requêtes pouvant être appelées :

- **GET /entsoe/available\_dates** : retourne les dates pour lesquelles les données de consommation de l'ENTSO-E existent ;
- **GET /networks/pantagruel** : fournit un fichier JSON contenant un *grid* par défaut ;
- **GET /networks/ieee14** : fournit le fichier JSON du réseau de 14 *bus* appelé « IEEE14 » ;
- **POST /opf/dc\_opf** : effectue le calcul d'optimal power flow avec du courant continu selon le réseau reçu et renvoie le résultat ;
- **POST /opf/ac\_opf** : même chose que dc\_opf mais avec du courant alternatif ;
- **POST /opf/dc\_opf\_country** : effectue le calcul OPF en changeant les consommations pour correspondre aux valeurs de charge par pays transmises et retourne le résultat ;
- **POST /opf/ac\_opf\_country** : même chose que dc\_opf\_country mais avec du courant alternatif ;
- **POST /panta/dc\_opf\_entsoe** : effectue le calcul OPF DC selon les données de consommation par pays de l'ENTSO-E à la date transmise ;
- **POST /panta/ac\_opf\_entsoe** : même chose que dc\_opf\_entsoe mais avec du courant alternatif ;
- **POST /pf/dc\_pf** : effectue le calcul de power flow avec du courant continu selon le réseau reçu et renvoie le résultat ;
- **POST /pf/ac\_pf** : même chose que dc\_pf mais avec du courant alternatif.

La différence principale entre les requêtes PF et OPF est qu'une PF retourne un *grid* où les limites des lignes ne sont pas prises en compte et peuvent dépasser le 100 %.

La temps de réponse dépend du solveur utilisé. Une vérification de la licence Gurobi est faite au moyen d'un fichier *gurobi.lic*. Il faut que celui-ci contienne l'URL de la licence de la HES ou une autre licence. La licence de la HES ne peut être accédée que si l'ordinateur est connecté au réseau de cette dernière. Si la licence ne peut pas être vérifiée, un solveur gratuit, IPOPT, est utilisé. La version Gurobi prend entre 5 et 20 secondes à générer un réseau, la version IPOPT prend entre 50 secondes et 2 minutes.

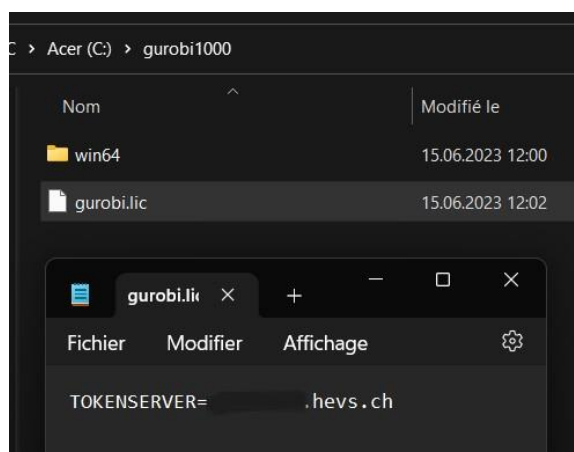


Figure 23 : Emplacement et fichier (censuré) de licence Gurobi  
Source de l'auteur

En cas d'échec, les codes retournés sont :

- 400, si les données n'ont pas pu être converties ;
- 422, s'il manque des données ;
- 500, si les calculs ont échoués, comme quand il n'y pas de résolution possible.

### 3.3.3. FORMAT DES DONNÉES DE SORTIES DE L'API

Un petit *grid* de 14 *bus* a servi pour les premiers tests afin d'avoir un exemple de structure. Le fichier au format MatPower se trouve en Annexe I : Fichier *case14.m* et la version JSON dans l'Annexe II : Fichier *IEEE14.json*. Voici dans les grandes lignes la structure :

- **baseMVA** : puissance de base du réseau ;
- **bus** : liste des *bus* avec leur nom, leurs coordonnées, la population, etc. ;
- **gen** : liste des générateurs avec le *bus* associé, la capacité de génération, etc. ;
- **branch** : liste des lignes avec le *bus* de départ et d'arrivée, la résistance, etc. ;
- **load** : liste des charges avec le *bus* associé, la consommation électrique, etc.

```
{
  "bus": { ... }, // 14 items
  "source_type": "matpower",
  "name": "case14",
  "dcline": {},
  "source_version": "2",
  "gen": { ... }, // 5 items
  "branch": { ... }, // 20 items
  "storage": {},
  "switch": {},
  "baseMVA": 100,
  "per_unit": true,
  "shunt": { ... }, // 1 item
  "load": { ... } // 11 items
}
```

Figure 24 : Structure des données du réseau case14  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

Les vraies données se trouvent dans le fichier networks/pantagruel.json du GitHub NetworkServer.jl. Ce fichier a une structure légèrement différente de ieee14.json car les générateurs ont été complétés une propriété category pour l'affichage des couleurs des générateurs. Ci-dessous se trouve la structure finale du fichier JSON, les données utiles pour l'application sont marquées en **bleu** et en gras.

<pre>{   "bus": {     "4304": {       "coord": [         11.843262,         47.331377       ],       "name": "Zell/Ziller",       "bus_type": 2,       "status": 1,       "vmax": 1.1,       "country": "AT",       "load_prop": 0.00486357397,       "vmin": 0.9,       "index": 4304,       "va": 1.2066810108420394,       "population": 40179.745231,       "vm": 1,       "base_kv": 220     },     ...   },   "name": "pantagruel",   "dcline": {   },   "gen": {</pre>	<p><b>Ensemble des bus</b> <b>Exemple du bus 4303</b> <b>Coordonnées</b></p> <p><b>Nom du bus</b> Type de bus (1 PQ bus, 2 PV bus, 3 Slack bus, 4 isolated) <b>Statut du bus (0 inactif, 1 actif)</b> Voltage maximum autorisé <b>Pays</b> Proportion de la population du pays assigné au bus Voltage minimum autorisé <b>Index du bus</b> Angle de tension <b>Population assignée au bus</b> (utilisé par les loads) Angle de tension par unité <b>Tension de base</b></p> <p>Nom du réseau Ensemble des lignes DC du réseau (vide)</p> <p><b>Ensemble des générateurs</b></p>
---	---

<pre> "1": {   "pg": 1.14,   "model": 2,   "qg": 0,   "gen_bus": 81,   "pmax": 1.14,   "mbase": 100,   "vg": 1,   "category": "H",   "index": 1,   "cost": [     6000,     0   ],   "gen_status": 1,   "qmax": 0.57,   "qmin": -0.57,   "type": "Hydro",   "pmin": 0,   "ncost": 2 }, ... }, "branch": {   "4304": {     "br_r": 0.003707924606070,     "rate_a": 4.9,     "shift": 0,     "pt": 1.011079941130288,     "br_x": 0.021188140606115,     "g_to": 0,     "g_fr": 0,     "b_fr": 0,     "f_bus": 4442,     "br_status": 1,     "t_bus": 4443,     "b_to": 0,     "index": 4304,     "qf": 0,     "angmin": -1.0471975511965,     "angmax": 1.0471975511965,     "transformer": false,     "qt": 0,     "tap": 1,     "pf": -1.011079941130288   },   ... }, "storage": { }, "switch": { }, "multinetwork": false, "baseMVA": 100, "per_unit": true, "shunt": { }, "multiinfrastructure": false, "load": {   "3935": { </pre>	<p><b>Exemple du générateur 1</b>  <b>Puissance active générée</b>  Modèle de génération des coûts (1 linéaire, 2 polynomial)  <b>Puissance réactive générée</b>  <b>Index du bus associé</b>  <b>Capacité maximum de génération de puissance active</b>  Puissance de base du générateur (MVA)  Voltage du générateur  <b>Catégorie de générateur (C, N, F, O, G, H, R ou X)</b>  <b>Index du générateur</b>  Coût de la génération</p> <p><b>Statuts du bus (0 inactif, 1 actif)</b>  Capacité maximum de génération de puissance réactive  Capacité minimum de génération de puissance réactive  <b>Type de générateur (textuel)</b>  Capacité minimum de génération de puissance active  Ordre de coût du modèle</p> <p><b>Ensemble des branches</b>  <b>Exemple de la branch 4304</b>  Résistance de la ligne  <b>Puissance thermique de la ligne</b>  Décalage angulaire de la tension  <b>Puissance réelle injectée au bus de départ</b>  Réactance de ligne  Conductance de charge de la ligne au bus de départ  Conductance de charge de la ligne au bus de fin  Susceptibilité de charge de la ligne au bus de départ  <b>Index du bus de départ</b>  <b>Statuts de la branch (0 inactif, 1 actif)</b>  <b>Index du bus de fin</b>  Susceptibilité de charge de la ligne au bus de fin  <b>Index de la branch</b>  Puissance réactive injectée au bus de départ  Différence d'angle de tension minimale autorisée  Différence d'angle de tension maximale autorisée  <b>Boolean si la branch est un transformateur</b>  Puissance réactive injectée au bus de fin  Réglage de la prise de courant du transformateur  <b>Puissance réelle injectée au bus de fin</b></p> <p>Ensemble des dispositifs de stockage du réseau (vide)</p> <p>Ensemble des switches du réseau (vide)</p> <p>Boolean si le réseau est un réseau multiple  <b>Puissance de base du réseau</b>  Boolean si toutes les valeurs sont données par unité  Ensemble des shunts du réseau (vide)</p> <p>Boolean si le réseau contient des infrastructures multiples  <b>Ensemble des loads</b>  <b>Exemple du load 3935</b></p>
--	--

<pre>"status": 1, "load_bus": 7815, "qd": 0, "index": 4032, "pd": 1.6112900585540577 }, ... } }</pre>	<p>Statuts du <i>load</i> (0 inactif, 1 actif)  Index du <i>bus</i> associé au <i>load</i>  Consommation de puissance réactive  Index du <i>load</i>  Consommation de puissance active</p>
---	--

Figure 25 : Détails de chaque champ de données d'un réseau retourné par PanTaGruEl  
Tableau de l'auteur avec les données de  
<https://github.com/julianfritzsche/NetworkServer.jl/blob/main/networks/pantagruel.json>

## 4. ANALYSE TECHNOLOGIQUE

Sur base de l'étude de cas précédente, différentes possibilités sont analysées dans le présent chapitre pour le développement d'une application. Deux possibilités existent : l'intégration à un projet existant, Hotmaps, ou la création d'une nouvelle application. Les choix concernant les déploiements, frontend et backend, et la base de données seront fait en conséquence.

### 4.1. POSSIBILITÉ D'INTÉGRATION À HOTMAPS

Le projet Hotmaps est sous licence open-source. Cela inclut quatre droits :

- « usage de l'œuvre ;
- étude de l'œuvre pour en comprendre le fonctionnement ou l'adapter à ses besoins ;
- modification (amélioration, extension et transformation) ou incorporation de l'œuvre en une œuvre dérivée ;
- redistribution de l'œuvre, c'est-à-dire sa diffusion à d'autres usagers, y compris commercialement. » (Licence libre, 2023)

Ces conditions rendent possibles l'analyse et l'utilisation de Hotmaps comme base de travail.

#### 4.1.1. DESCRIPTION DE HOTMAPS

Le projet Hotmaps a pour but de cartographier la situation de l'énergie de chauffage et de refroidissement en Europe. (Hotmaps, s. d.). Il est disponible à l'adresse <https://www.hotmaps.eu/map>.

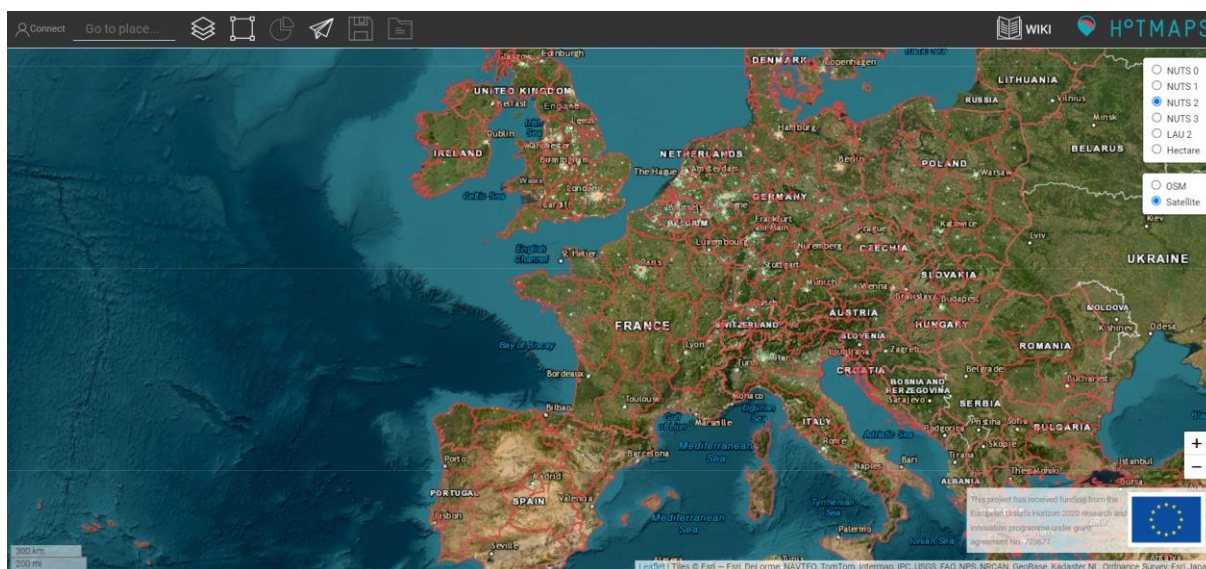


Figure 26 : Capture d'écran du site de base Hotmaps  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmaps.hevs.ch/map>



Le projet a évolué en une version cloud incluant plus de fonctionnalités et une meilleure interface. Cette version est disponible à l'adresse <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>.

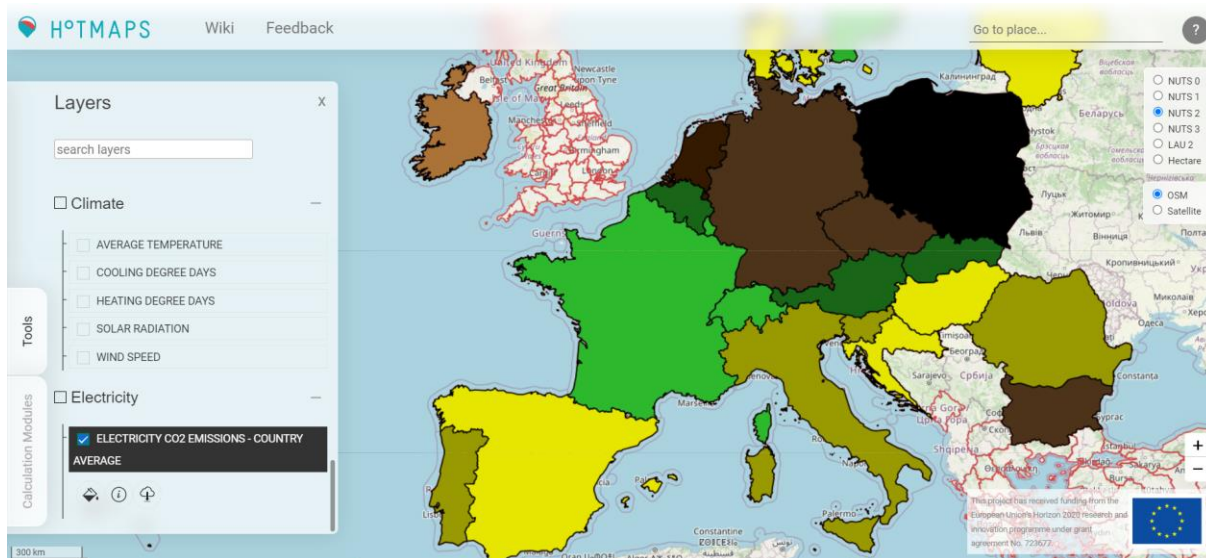


Figure 27 : Capture d'écran du site de Hotmaps cloud avec la couche electricity CO2 emissions  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>

Le frontend, écrit en TypeScript avec la bibliothèque Angular, communique au travers d'une API avec le backend en Python pour avoir les données. Celles-ci sont transférées en .csv, si ce sont des points, ou .tif si ce sont des zones de couleur. Les CSV sont compilés en GeoJSON pour l'affichage. Pour l'affichage de la carte, Leaflet est utilisé.

L'application possède deux fonctionnalités principales : les couches, appelées layers, et les modules de calcul, traduction de calculations modules. Les layers permettent d'afficher différentes couches à choix. Ces données se trouvent physiquement dans une base de données appelée geoserver. Les modules de calcul sont des algorithmes encapsulés dans des Dockers appelés au travers d'API qui retournent des données sous forme de CSV ou TIFF. Des radios buttons permettent de choisir le fond de carte ainsi que l'échelle des limites de région. Ces limites peuvent être affichées au niveau des pays, des régions ou encore des hectares.

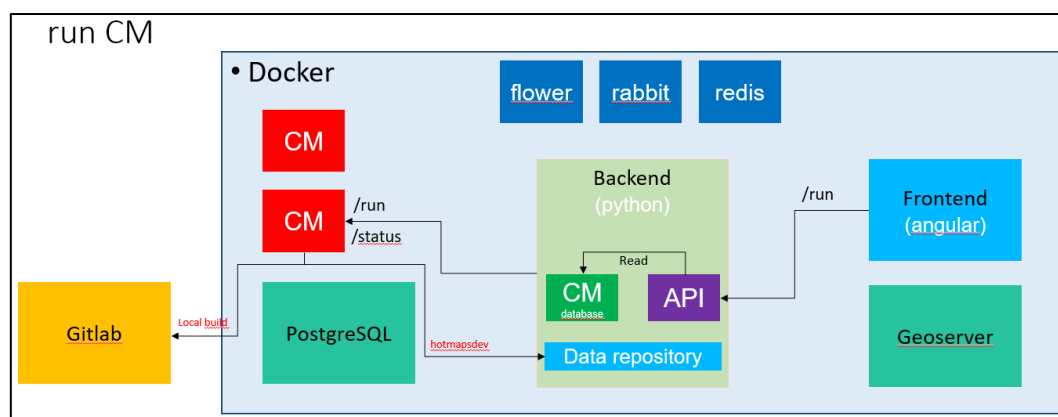


Figure 28 : Schéma de fonctionnement des calculations modules de Hotmaps  
Tiré de How it works, run CM [Schéma], par JC. Ferreira da Silva, 2023

L'application propose également un espace personnel une fois un compte créé. Cela permet de charger un fichier de son ordinateur. Il faut ensuite indiquer à quel type de couche il appartient afin d'afficher correctement les données. Ces personnel layers peuvent être partagées au sein d'une organisation.





SHARE	FILENAME	LAYER	SIZE (KB)	
Shared	TP50SharedLa...	Heat density to...	319,928.1	 
Private	ExtractedData_...	Industrial Sites...	16.9	 

Figure 29 : Gestion des personnel layers dans Hotmaps  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>

#### 4.1.2. ADAPTATION POUR UN RÉSEAU ÉLECTRIQUE

Après une première analyse, la couche correspondant le plus aux données à représenter pour ce travail de Bachelor est « industrial sites excess heat ». Grâce aux points avec des représentations en secteurs, il serait possible de représenter l'utilisation/production d'un bus en fonction de son maximum.

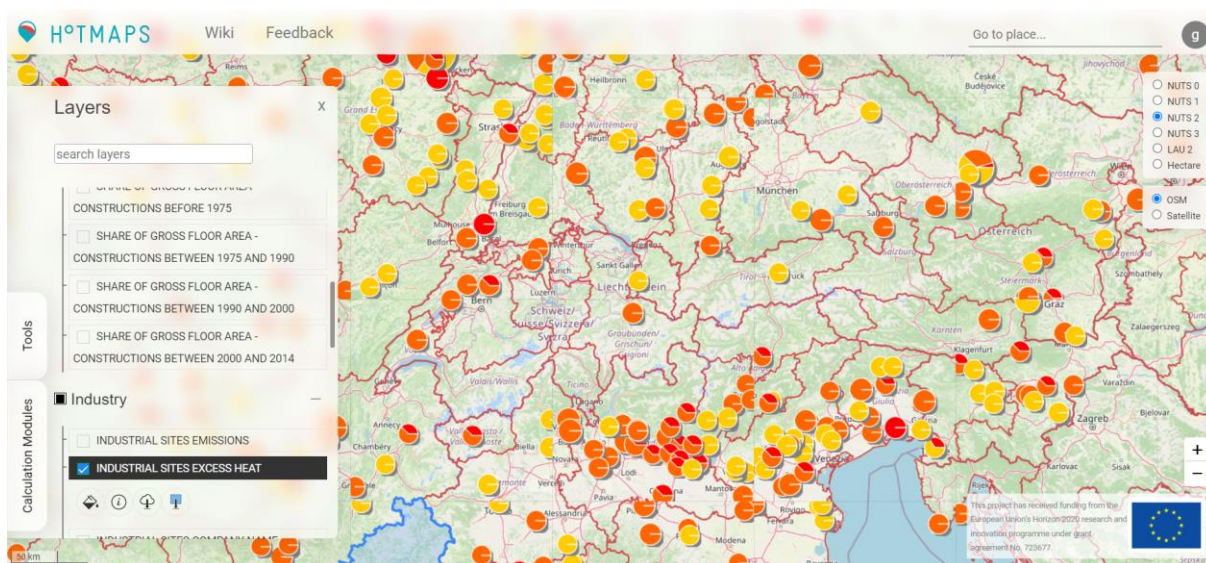
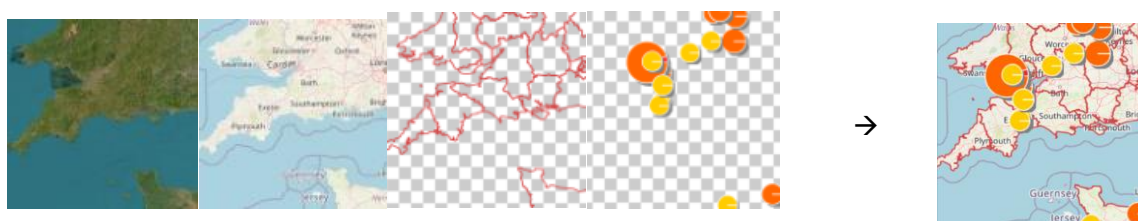


Figure 30 : Affichage de la couche Industrial sites excess heat de Hotmaps  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>

Lors de l'analyse technologique, aucune couche permettant de tracer des lignes n'a été identifiée. Cette demande a été formulée par la Ville de Neuchâtel et sera certainement développée prochainement. Cela ne devrait pas être d'une grande difficulté car la bibliothèque Leaflet le permet.

De plus, les points ne sont pas cliquables et ne permettent pas d'obtenir les détails, ce qui est une demande essentielle. La fonctionnalité devrait en théorie être facilement ajoutée car Leaflet le propose. Malheureusement l'analyse du code a permis de mettre en évidence le fait que ces points sont en réalité des images carrées SVG contenant plusieurs points. Ce sont des « leaflet-tile-pane ». Les deux images à l'extrémité gauche de la figure ci-dessous correspondent aux deux cartes de fond disponibles. Les deux images au centre montrent deux SVG sans fond avec les données de frontières et les points. L'addition des trois images superposées rend le visual à droite.



**Figure 31 : Différentes couches utilisées dans Hotmaps**  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>

Dans le code compilé, il n'y a que deux des sept objets construits par la carte Leaflet qui sont utilisés : les « leaflet-tile-pane », ce sont les quatre couches vues précédemment, et les objets « leaflet-overlay-pane » pour mettre en avant la zone sélectionnée.

```
<div class="leaflet-pane leaflet-map-pane" style="transform: translate3d(-509.656px, -85.648px, 0px);">
  <div class="leaflet-pane leaflet-tile-pane"> == $0
    <div class="leaflet-layer " style="z-index: 1; opacity: 1;"> ... </div>
    <div class="leaflet-layer " style="z-index: 3; opacity: 1;"> ... </div>
    <div class="leaflet-layer " style="z-index: 1; opacity: 1;"> ... </div>
    <div class="leaflet-layer " style="z-index: 6; opacity: 1;"> ... </div>
  </div>
  <div class="leaflet-pane leaflet-shadow-pane"></div>
  <div class="leaflet-pane leaflet-overlay-pane"> ... </div>
  <div class="leaflet-pane leaflet-marker-pane"></div>
  <div class="leaflet-pane leaflet-tooltip-pane"></div>
  <div class="leaflet-pane leaflet-popup-pane"></div>
  <div class="leaflet-proxy leaflet-zoom-animat" style="transform: translate3d(8335.16px, 5691.65px, 0px) scale(32);"></div>
</div>
```

**Figure 32 : Structure de l'objet map dans Hotmaps**  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>



Bien que les points ne sont pas sélectionnables, il existe actuellement deux astuces pour avoir le détail d'un point :

- soit choisir le niveau de zone le plus bas, appelé LAU2, sélectionner la zone où le point se trouve et cliquer sur « Load results », en espérant qu'il n'y ait qu'un seul point dans la zone, voir Figure 33 ;
- soit choisir la couche Hectare et tracer une zone autour du point souhaité, voir Figure 34.

Cette adaptation est peu optimale. Les actions décrites ci-dessus ne sont pas intuitives. De plus, il est nécessaire d'avoir le panneau de sélection de zone ouvert pour effectuer ces opérations, ce qui provoque une diminution de la portion de carte affichée.

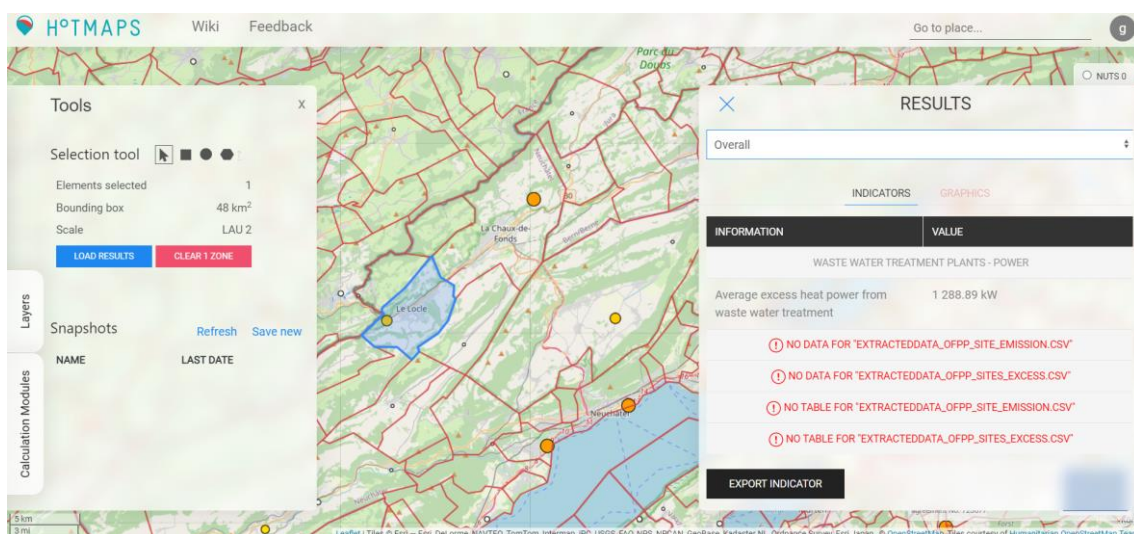


Figure 33 : Première possibilité de Hotmaps pour afficher des détails d'un point (LAU)  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>

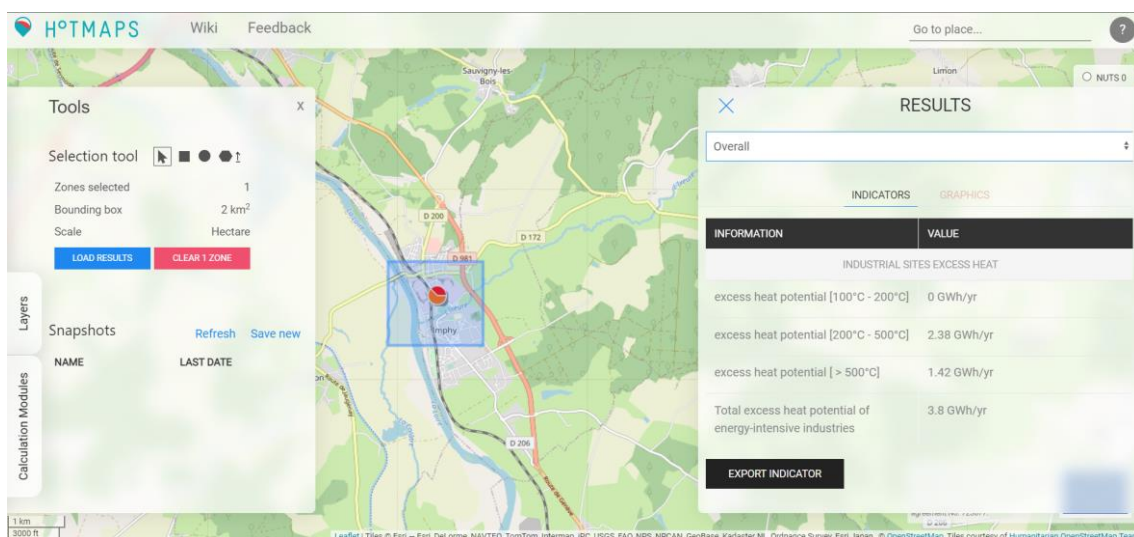


Figure 34 : Deuxième possibilité de Hotmaps pour afficher des détails d'un point (Hectare et sélection)  
Capturé en mars 2023, de Hotmaps, <https://www.hotmapscloud.hevs.ch/map>

Les fonctionnalités à ajouter à Hotmaps seraient des plus-values intéressantes pour leur projet mais un ajout aussi important prendrait énormément de temps avant d’être mis en production. Cela ne permettrait pas de proposer une application utilisable au GEEE dans des délais raisonnables. Si cela devait avoir lieu, voici l’architecture imaginée :

- API de PanTaGruEl mis dans un docker et ajouté aux calculations modules ;
- retour d’un fichier contenant toutes les informations ;
- dans le frontend, affichage des différents types d’objet (*branch*, *bus*, *load*, *gen*) ;
- dans le frontend, information de chaque point accessible par simple clique.

En revanche, les modifications du *grid*, afin de donner les nouvelles données en paramètres du calculs modules, devraient être implémentées dans une autre application. Cela permettrait de générer un nouveau fichier à transmettre à l’API. Le fichier retourné pourrait par exemple être ajouté à une personal layer pour une conservation à long terme.

#### 4.1.3. CONCLUSION INTÉGRATION À HOTMAPS

Hotmaps est déjà une boîte à outils très développée mais qui ne propose actuellement pas des fonctionnalités nécessaires pour répondre aux demandes du GEEE. L’architecture en place est solide mais complexe. Autant cela peut être bénéfique à long terme, autant la prise en main demanderait beaucoup de temps. Dans le cadre d’études à temps partiel, il est difficile de planifier un temps de travail en commun avec l’équipe de développement de Hotmaps

Cependant si la carte ajoute des fonctionnalités plus avancées, comme l’affichage des lignes et la modification des données de chaque élément, l’architecture est tout à fait adaptée à l’ajout d’un module de calcul qui ferait appel à l’API.

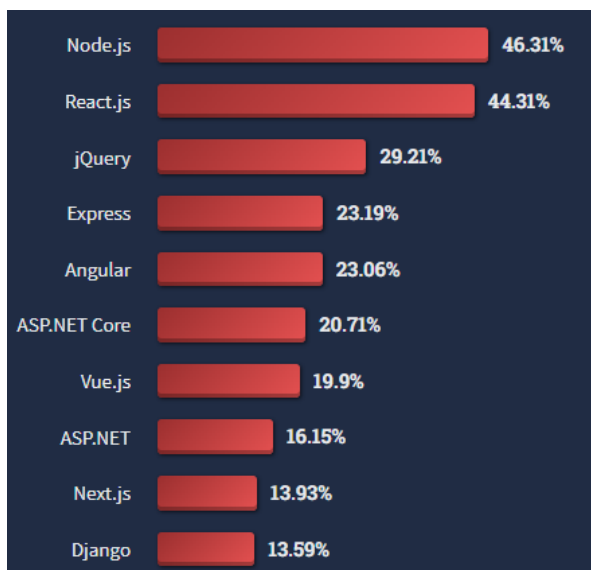
## 4.2. POSSIBILITÉS DE DÉVELOPPEMENT

Un développement complet permet de viser les besoins du GEEE sans dépendre d'un projet existant. La prise en main de l'architecture et l'intégration à un projet déjà déployé demande une bonne expérience du nouvel acteur et une flexibilité de la part de l'équipe.

En se basant sur le sondage des technologies web de StackOverflow de la voir Figure 35, les langages et frameworks les plus courantes chez les développeurs professionnels en 2022 sont :

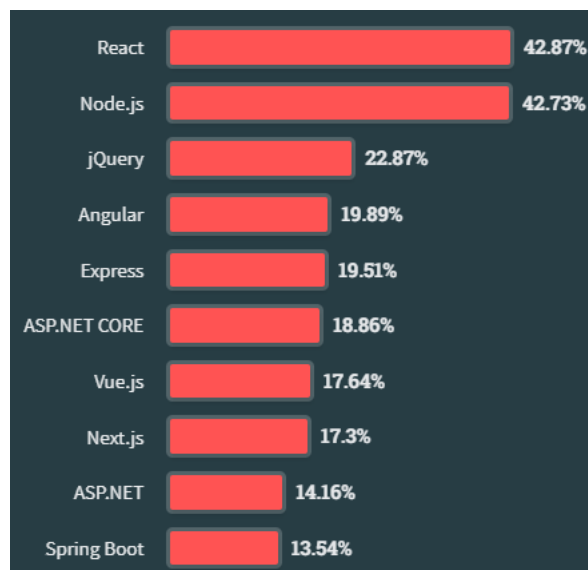
- en JavaScript/TypeScript, Node.js, React.js, jQuery, Express, Angular, Vue.js et Next.js ;
- en C#, ASP.NET Core et ASP.NET ;
- en Python, Django.

Node.js ainsi que Express ont été mis de côté car ils sont utilisés comme frameworks de backend. (« Difference between Node.Js and React.Js », 2020) (*Express vs React*, 2022). jQuery a également été écarté car il n'est pas vraiment comparable aux autres bibliothèques de la liste. Utilisé périodiquement dans le code HTML, il simplifie l'écriture d'une application JavaScript mais n'est pas prévu pour le développement d'éléments de l'interface et de composants (*JQuery vs. React*, s. d.).



**Figure 35 : Top 10 de technologies et frameworks web les plus populaires chez les développeurs professionnels en 2022**

Tiré de Web frameworks and technologies [graphique], mai 2022, Stack Overflow,  
<https://survey.stackoverflow.co/2022/#most-popular-technologies-webframe-prof>



**Figure 36 : Top 10 de technologies et frameworks web les plus populaires chez les développeurs professionnels en 2023**

Tiré de Web frameworks and technologies [graphique], mai 2023, Stack Overflow,  
<https://survey.stackoverflow.co/2023/#most-popular-technologies-webframe-prof>

En plus de frameworks retenus ci-dessus, le langage Dart appris durant le cursus scolaire avec Flutter a également été évalué, ainsi que Svelte qui intéresse les développeurs React et Node.js.

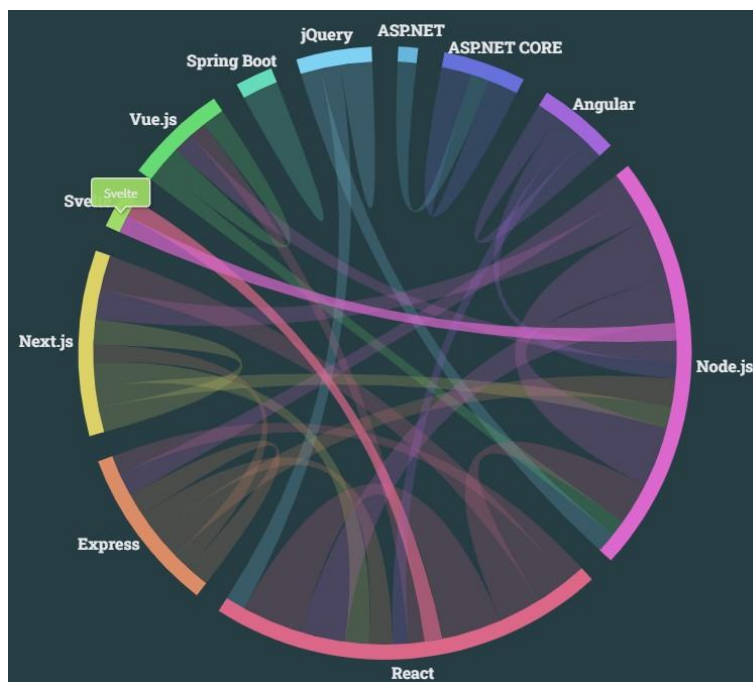


Figure 37 : Web frameworks and technologies worked with vs. want to work with

Tiré de Web frameworks and technologies [graphique], mai 2023, Stack Overflow,  
<https://survey.stackoverflow.co/2023/#worked-with-vs-want-to-work-with-webframe-worked-want-prof>

#### 4.2.1. JAVASCRIPT ET TYPESCRIPT

Les cinq frameworks JavaScript/TypeScript analysés sont React.js, Vue.js, Next.js, Svelte et Angular. Chacun ayant encore des bibliothèques pour l'affichage de cartes, une analyse approfondie n'a été faite que des plus prometteurs.

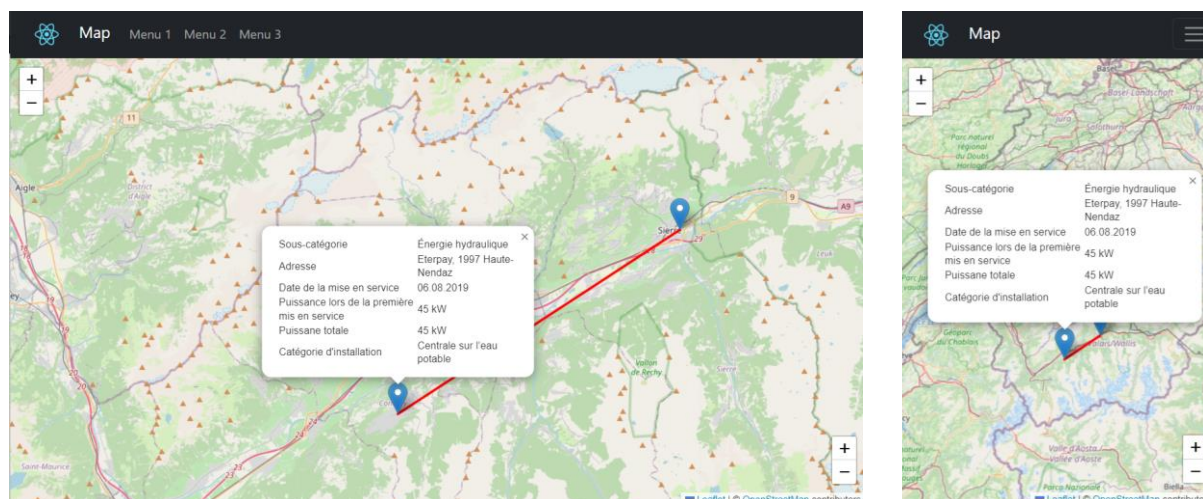
- React.js

React.js est un framework utilisé plusieurs fois lors du cursus à la HES et est donc le plus maîtrisé que tous les frameworks du classement Stack Overflow 2022. Il possède une grande communauté et il est facile de trouver de la documentation. Etant très prometteur, cinq bibliothèques de cartes ont été analysées.

	Avantages	Inconvénients
<b>React Simple Maps</b>	Bibliothèque légère Travaille avec SVG	Performance réduite avec de grandes cartes Petite communauté
<b>Google Map</b>	Performance Google	Compte Google developer nécessaire et coût en production
<b>Deck.gl</b>	Très performant Bonne interactivité	Lourd en mémoire Moins de compatibilité de navigateurs
<b>Leaflet (react-leaflet)</b>	Simple à prendre en main Customisation possible Bonne comptabilité de navigateur	La façon dont les données sont chargées peuvent impacter les grandes cartes
<b>Pigeon Maps</b>	Simple à prendre en main Customisation possible	Limité dans la compatibilité avec les autres composants et la customisation

**Tableau 6 : Avantages et inconvénients principaux des bibliothèques de cartes compatibles avec React.js**  
Tableau de l'auteur selon les données de Wickramasinghe, 2023

Afin d'évaluer les deux librairies les plus adaptées, Deck.gl et react-leaflet, deux projets tests ont été réalisés. Malheureusement la mise en place de Deck.gl n'a pas abouti dans un temps convenable pour un projet test. Mais le test Leaflet est très prometteur : ci-dessous, le résultat obtenu en utilisant React Leaflet en 1h45. La carte est zoomable, dragable et compatible mobile. Les données sont fictives, elles ne sont là que pour une meilleure projection. Le déploiement d'application React a déjà été testé dans le passé et est très intuitif.



**Figure 38 : Application de test avec React et Leaflet**  
Capturé en mars 2023, G. Gustin

- Vue.js

Vue.js a été pensé pour parer à des problèmes existants dans Angular et React. En théorie plus léger et plus rapide, sa jeunesse et son manque de communauté créent une moins-value concernant la quantité d'aide et les plugins à disposition (*Vue.js : Quels sont les avantages et les inconvénients ?*, 2021).



- Next.js

Next.js est un framework de React.js. Il est utilisé par des grandes applications tel que TikTok ou Twitch Mobile. Mais étant une « bibliothèque de bibliothèque », Next.js possède peu d'extensions à disposition. L'apprentissage en est assez facile (*Qu'est-ce que Next.js ?*, 2022). Son avantage est de faire du rendu côté serveur et cela améliore le positionnement du site dans les résultats sur les moteurs de recherche. (*Agence de développement Next.js*, s. d.)

- Svelte

Svelte a comme but d'être léger, pour cela il n'a pas de DOM virtuel et ne charge que le minimum du code possible. Sa communauté est plus petite que Vue.js et sa syntaxe est plus particulière (Svelte.js, s. d.).

- Angular

Bien que Angular soit adapté à JavaScript et TypeScript, il est plus souvent utilisé avec ce dernier. Afin d'évaluer la différence avec la version plus souple du langage web, un projet test similaire à celui de React.js a été fait. Une des raisons qui pousserait à utiliser ce framework est l'intégration à Hotmaps, qui utilise la bibliothèque Leaflet pour la carte. C'est donc cette bibliothèque qui a été choisie pour le test.

Grace au suivi d'une partie de la formation *Débutez avec Angular* du site OpenClassroom et aux tutoriels de «How To Build Maps in Angular with Leaflet » de Engelsma, s. d., un test très concluant a été réalisé. Les avantages de TypeScript par rapport à JavaScript, comme un code plus lisible, ont été constatés. Le code compilé a été analysé comme celui d'Hotmaps. Dans l'exemple ci-dessous, les lignes et les cercles ont été créés via la couche « leaflet-overlay-pane » et le popup se trouve dans « leaflet-popup-pane ».

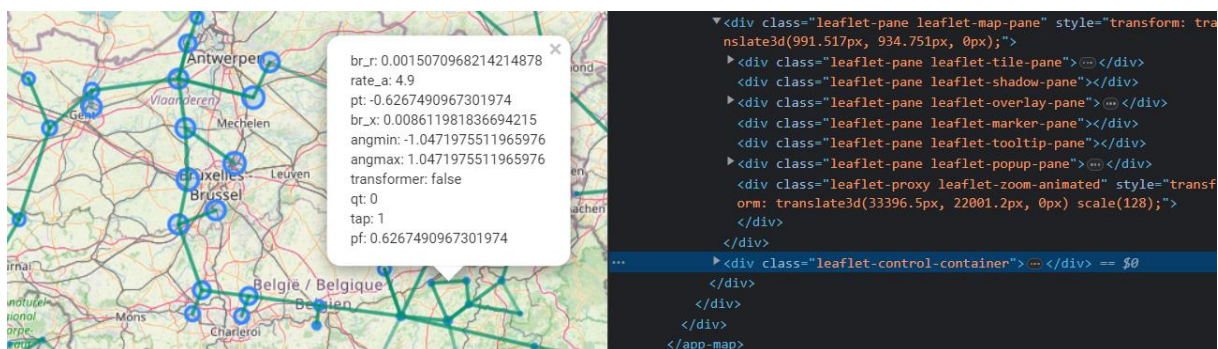


Figure 39 : Projet de test en Angular utilisant Leaflet affichant les données de PanTaGruEl  
Capturé en mars 2023, G. Gustin

#### 4.2.2. C# : ASP.NET CORE ET ASP.NET

.NET 7 est la version plus récente de ASP.NET CORE (*..NET and .NET Core Official Support Policy*, 2023). Utilisé plus souvent pour du backend, ce framework demande une architecture plus avancée qu'un projet en JavaScript. Le rendu du frontend est simplement fait en HTML dans lequel il est possible d'intégrer du JavaScript. Pour des fonctionnalités avancées, il est donc plus logique de choisir un framework JavaScript directement. Le déploiement également est plus complexe qu'avec des projets réalisés en React.js. Une licence Microsoft IIS est nécessaire mais souvent incluse dans le prix de l'hôte (Reed Copsey, 2009).

#### 4.2.3. PYTHON

Python est un langage très bien implanté mais qui est n'a malheureusement pas pu être testé durant le cursus. Plutôt utilisé pour du backend, il existe malgré tout certains framework pour créer des application web en Python, comme Django. Cette possibilité est très intéressante pour les développeurs connaissant déjà Python et souhaitant faire du développement Web, mais avec le background existant, cela serait contreproductif. De plus, l'analyse des sites existants représentant des données énergétiques européennes a permis de démontrer que JavaScript/TypeScript est très approprié pour ce type d'application frontend.

#### 4.2.4. DART : FLUTTER

Flutter est le framework de Google imaginé pour le développement multiplateforme utilisant le langage Dart. Testé durant la formation pour une application Android, l'apprentissage s'est effectué avec une bonne courbe de progression. Le projet a été adapté en version web, ce qui a permis de révéler une grande faiblesse : la communauté n'est pas vraiment active pour le développement web pure.

#### 4.2.5. COMPARAISON

Nos critères d'analyse sont basés sur l'aisance de l'auteur avec ce framework, l'activité de communautés sur StackOverflow, l'adaptation au web et sa maturité, basé sur l'année de sortie de la première version.

	Maitrise / connaissance	Communauté / Aide en ligne <sup>1</sup>	Adapté au web / ce projet	Maturité <sup>2</sup> 2023-an / 4	Totaux
<b>Poids</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>		
React.js	4	5	5	2013	
	12	10	5	3	30
Express	2	3	5	2010	
	6	6	5	3	20
Vue.js	2	3	5	2014	
	6	6	5	2	19
Next.js	2	2	5	2016	
	6	4	5	2	17
Svelte (JS)	1	1	5	2016	
	3	2	5	2	12
Angular (TS)	3	4	5	2016	
	9	8	5	2	24
ASP.NET (C#)	2	4	2	2002	
	6	8	2	5	21
Django (Python)	1	4	4	2005	
	3	8	4	5	20
Flutter (Dart)	3	3	1	2017	
	9	6	1	2	18

Tableau 7 : Comparaison des frameworks avec pondération  
Tableau de l'auteur provenant de sources multiples

<sup>1</sup> Nombre de question sur StackOverFlow recherchées par tag :

- React.js : 457,864 (Newest « reactjs » Questions, 2023)
- Express : 93,314 (Newest « express » Questions, 2023)
- Vue.js : 104,164 (Newest « vue.Js » Questions, 2023)
- Next.js : 31,864 (Newest « next.Js » Questions, 2023)
- Svelte : 4,968 (Newest « svelte » Questions, 2023)
- Django : 307,237 (Newest « django » Questions, 2023)
- Angular : 296,599 (Newest « angular » Questions, 2023)
- Flutter : 163,371 (Newest « flutter » Questions, 2023)
- ASP.NET : 373,128 (Newest « asp.Net » Questions, 2023)

<sup>2</sup> Date de création du langage :

- React.js : première version 2013 (*React*, 2023)
- Express : première version 16 novembre 2010 (*Express.js*, 2022)
- Vue.js : première version 11 février 2014 (*Vue.js*, 2023)
- Next.js : première version 25 octobre 2016 (*Next.js*, 2023)
- Svelte : première version 2016 (*Svelte*, 2023)
- Django : première version 2005 (*Django (framework)*, 2023)
- Angular : première version septembre 2016 (*Angular*, 2023)
- Flutter : première version 2017 (*Flutter (logiciel)*, 2023)
- ASP.NET : première version janvier 2002 (*ASP.NET*, 2021)

### 4.3. CHOIX TECHNOLOGIQUES

À la suite de l'étude de cas et de l'analyse précédente, différentes décisions doivent être prises :

- l'intégration à un projet existant ou un développement complet ;
- si développement, choix d'un langage et d'un framework ;
- type de déploiement pour le frontend ;
- définition ou non d'une base de données ;
- moyen de mise à disposition de l'API.

#### 4.3.1. FRONTEND

Pour le frontend, les possibilités retenues sont :

- intégration à Hotmaps ;
- développement complet en React.js ;
- développement complet en Angular.

L'intégration à Hotmaps est mise de côté suite à l'analyse qui a révélé une architecture avancée. Une intégration directe serait bénéfique à long terme mais demanderait trop de temps, ce qui prêterait l'avancée de l'application. Cependant, une intégration serait vraiment intéressante dans le futur. Pour cette raison, le framework Angular et le langage TypeScript sont sélectionnés pour la création complète d'une application. Si l'intégration ne se faisait pas, le projet gagne malgré tout une plus-value avec TypeScript, permettant un code plus propre et plus structuré que react.js.

Le code est hébergé sur le GitLab de la HESSO-VS avec un branching strategy de type development isolation, cela signifie que le code possède deux versions. Une branche « main » contient le code de l'application en production et une branche « dev » possède un code en cours de travail. Ce choix permet d'avoir une application stable utilisable par les utilisateurs sur la branche main, et d'avoir un environnement de tests sur la branche dev. Le branching strategy n'a pas besoin d'être plus complexe dans cet environnement car il n'y aura qu'un seul développeur sur le frontend, travaillant sur une fonctionnalité à la fois.

### 4.3.2. DÉPLOIEMENT FRONTEND

Les deux branches du GitLab ont été liées à un projet Netlify afin de permettre le build et le déploiement automatique à chaque fois que le code est mis à jour (*Netlify*, s. d.). La mise à jour du code se fait avec la commande push. Cette dernière n'est effectuée sur la branche de dev que lorsqu'une fonctionnalité est terminée. Il arrive que parfois une fonctionnalité ne soit pas terminée en fin de journée, dans ce cas le code est poussé. Cette version peut posséder des boutons ne réagissant pas, mais aucune version avec des bugs est mise sur le serveur. La fusion, merge en terme Git, sur la branche main n'est fait que pour le sprint review. Lors du mail précédant ce rendez-vous, les utilisateurs sont invités à aller tester les nouvelles fonctionnalités. Les corrections relevées durant le sprint review sont aussi mergées juste après la réunion. Un merge peut également être fait en cas de hotfix.

Netlify permet de personnaliser les liens de déploiement gratuitement. La branche main est accessible via <https://pantagruel-frontend.netlify.app/> et la branche dev via <https://pantagruel-frontend-dev.netlify.app/>. Ces déploiements ne seront pas automatiquement supprimés par la plateforme, même en cas de suppression du Git.

Au niveau de la configuration du projet Netlify, la commande de build est « ng build » et le répertoire de publication, publish directory, doit correspondre au « outputPath » du fichier angular.json.

Build configuration	
Runtime:	Not set
Base directory:	Not set
Build command:	ng build
Publish directory:	dist/pan-ta-gru-el-frontend
Build status:	Active

Figure 40 : Paramètre de build des projets Netlify  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

```

37  "prefix": "app",
38  "architect": {
39    "build": {
40      "builder": "@angular-devkit/build-angular:browser",
41      "options": {
42        "outputPath": "dist/pan-ta-gru-el-frontend",
43        "index": "src/index.html",
44        "main": "src/main.ts",

```

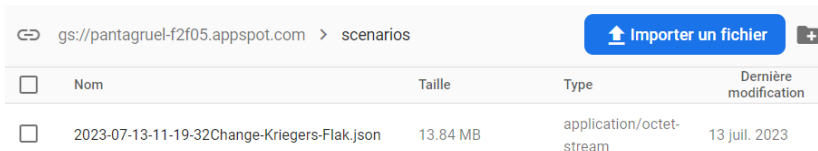
Figure 41 : Extrait du fichier angular.json du projet Angular  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

### 4.3.3. BASE DE DONNÉES

Les données utiles à l’affichage de la carte sont calculées à chaque appel de l’API. Si chaque *grid* résolu était stocké, une base de données grandirait rapidement avec peu de probabilité que le même scénario soit affiché. La création d’une base de données n’a donc pas de sens pour ce cas. Cependant, il a été demandé de pouvoir partager des permaliens avec des scénarios précis. Pour cela, un fichier JSON d’environ 15 mégabytes doit être stocké.

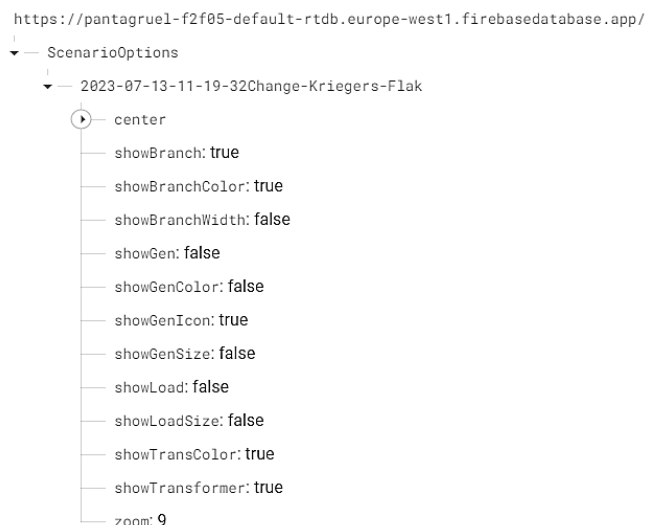
La première solution envisagée était de pousser directement sur le serveur Netlify, mais cela est un terrain inconnu. La solution finalement mise en place est l’utilisation de Firebase. Ce choix est basé sur l’expérience afin de proposer un proof of concept plus qu’une mise à disposition pour le grand public. Firebase propose des options de connexion, avec mot de passe ou compte Google, faciles à implémenter mais n’ayant actuellement que deux utilisateurs, la mise en place d’une identification n’a pas été envisagée.

Afin de stocker la carte telle qu’un utilisateur la voit afin de la partager, deux types de données sont stockés dans Firebase : le fichier JSON et les options d’affichage. Le fichier JSON est trop lourd pour la Realtime Database et est donc stocké dans le module Storage sous la balise « scenarios ». Le fichier JSON est nommé avec l’horodatage au moment de la création et le nom du scénario entré par l’utilisateur. Les options sont stockées dans la Realtime Database sous la balise « ScenarioOptions ». Le nom de la balise principale est le nom du fichier JSON sans l’extension car le point n’est pas accepté.



	Nom	Taille	Type	Dernière modification
<input type="checkbox"/>	2023-07-13-11-19-32Change-Kriegers-Flak.json	13.84 MB	application/octet-stream	13 juil. 2023

**Figure 42 : structure de Storage de Firebase**  
Capturé en août 2023, G. Gustin



**Figure 43 : structure des données dans la Realtime Database de Firebase**  
Capturé en août 2023, G. Gustin

#### 4.3.4. BACKEND

Pour rendre l'application utilisable par tous, il est nécessaire de publier l'API. Docker s'est imposé par ses avantages et pour garder la possibilité d'intégration à Hotmaps.

GitLab offre une possibilité de déploiement continu utilisant Docker. Durant le sprint 0, des tests ont été effectués mais n'ont pas abouti à un résultat, certainement par l'absence de connaissance du langage Julia. La tâche a été mise de côté, jusqu'à ce que l'auteur de l'API, connaisseur de Julia, s'en occupe.

Julian Fritzschi a créé une image Docker contenant son code. Le Dockerfile est disponible sur GitHub : <https://github.com/julianfritzschi/NetworkServerDocker/blob/main/Dockerfile> et l'image est publiée sur le Docker Hub <https://hub.docker.com/r/julianfritzschi/networkserver>.

Le Docker a ensuite été publié sur le serveur vlhprj645docker.hevs.ch hébergé au Technopole. Il est accessible avec un utilisateur personnel en SSH. Pour cela trois fichiers ont dû être créés et mis dans un dossier sur le serveur : docker-compose.yml, docker-compose.prod.yml et .env. La commande pour le lancement est la suivante :

```
docker compose -f docker-compose.yml -f docker-compose.prod.yml up -d --build
```

On peut vérifier que l'API est en fonction au moyen de Swagger : <https://pantagruelapi.p645.hevs.ch/docs>

<b>docker-compose.yml</b> <pre>services:   api:     container_name: pantagruel-api     ports:       - "8080:8080"     image: julianfritzschi/networkserver</pre>	<b>docker-compose.prod.yml</b> <pre>version: '3.1'  services:   api:     labels:       - "traefik.backend=\${TRAEFIK_BACKEND}"       - "traefik.docker.network=prod"       - ""     "traefik.frontend.rule=Host:\${TRAEFIK_URL}"     - "traefik.enable=true"     networks:       - default       - prod  networks:   prod:     external: true      TRAEFIK_BACKEND=pantagruel_api     TRAEFIK_URL=pantagruelapi.p645.hevs.ch</pre>
<b>.env</b> <pre>TRAEFIK_BACKEND = pantagruel_api  TRAEFIK_URL = pantagruelapi.p645.hevs.ch</pre>	

Figure 44 : Fichiers nécessaires au « docker up ». Source de l'auteur



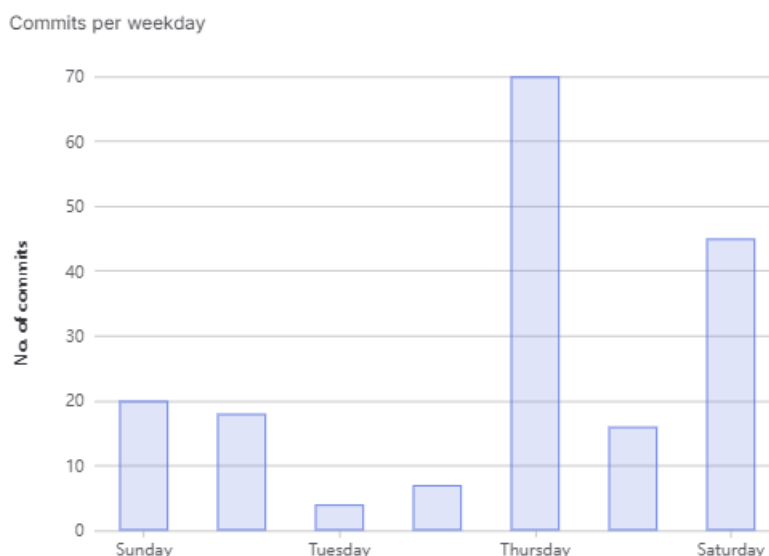
## 5. GESTION DE PROJET

Afin d'organiser le travail à effectuer pour ce Bachelor, plusieurs éléments ont été nécessaires. Premièrement, il a fallu définir le point de contact avec le GEEE et gérer la rencontre du monde très technique de la physique avec la mise en pratique dans un système d'information. En second lieu, l'organisation de l'environnement de travail s'est faite à trois niveaux. La mise en place de Scrum est passée par la rédaction d'un product backlog et la définition des sprints. L'élaboration de l'intégration continue, abrégée CI, s'est faite avec la création d'un répertoire Git et la définition d'un branching strategy. Pour finir, la préparation du déploiement continu, abrégé CD, a été réalisée avec Netlify.

A la fin de ce chapitre se trouve un retour d'expérience des outils utilisés, comme avec la release roadmap de Scrum, ainsi qu'une description de l'application telle qu'elle est au moment du rendu et les points à prendre compte pour une suite de projet.

### 5.1. ORGANISATION GÉNÉRALE

À la première rencontre, le jeudi a été défini comme le jour où l'équipe travaillerait ensemble dans les locaux du GEEE afin de faciliter la communication. Cette régularité a quasiment été toujours respectée, outre obligations et vacances.



**Figure 45 : Nombre de commits par jour de la semaine**  
Capturé en août 2023, de GitLab, <https://www.hotmaps.hevs.ch/map>

Afin de permettre une bonne collaboration entre le monde des physicien·ne·s et des informaticien·ne·s, un engagement a été fait par les deux partis. L'informatique a dû comprendre les données techniques et appréhender la manière de travailler traditionnelle de l'équipe. Leur méthode de travail se base plus sur le besoin de répondre rapidement à une problématique que la mise en place d'un système flexible à long terme pouvant s'adapter à de nouvelles demandes. Les membres du GEEE ont dû être introduit à Scrum et se sont très bien adaptés à cette méthodologie.

Julian Fritzschi étant germanophone d'origine et ne parlant pas français, la communication s'est faite en anglais. Le niveau d'anglais de l'auteur ayant encore une marge de progression, la compréhension à l'oral n'a pas toujours été aisée pour les aspects techniques. En cas de doute ou de questions importantes, des messages écrits sur Teams ont été échangés permettant de contourner ce désagrément.

Les meetings Scrum ont été adaptés au projet, par exemple avec l'absence de daily meeting. Les sprint reviews ont eu lieu avec Julian Fritzschi, appelé ci-dessous product owner ou PO, et le professeur Philippe Jacquod. Ils ont été suivis par un sprint planning. Des rétrospectives informelles ont été faites à la fin de chaque rencontre.

Les user stories prises durant les sprints ne concernent que le développement. Du temps supplémentaire a été prévu à chaque sprint pour le reste du travail : en premier lieu pour l'apprentissage du framework, qui était inconnu et ensuite pour la rédaction du rapport.

Dans les descriptions des sprints ci-dessous, le terme « équipe de développement » fait référence à deux personnes : Gwenaëlle Gustin et Julian Fritzschi, car ce dernier s'est occupé du backend avec la création de l'API.

Un suivi des heures passées a été fait afin d'évaluer si la quantité de travail était suffisante, par rapport aux 12 crédits ECTS demandés, équivalent à minimum 300 heures. Il se trouve en Annexe VII : Suivi des heures.

## 5.2. DÉROULEMENT DES SPRINTS

### 5.2.1. SPRINT 0

Le sprint 0 a servi à comprendre les données, définir les besoins et à analyser la technologie. Tout cela a été décrit dans les points précédents. Une liste de tâches a été définie afin de permettre une meilleure organisation.

<p><b>API communication : Angular app test communicate with local API</b></p> <p>#13 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.3 - mockup + appV0 (A...</p> <p>coding</p>	<p>Closed</p> <p>closed 3 months ago</p>
<p><b>Install Julia API</b></p> <p>#12 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.3 - mockup + appV0 (A...</p> <p>coding</p>	<p>Closed</p> <p>closed 3 months ago</p>
<p><b>Mockups</b></p> <p>#9 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.3 - mockup + appV0 (A...</p> <p>writing</p>	<p>Closed</p> <p>closed 3 months ago</p>
<p><b>Tech choice : leaflet in react/angular test</b></p> <p>#8 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.2 - analysis</p> <p>coding searching writing</p>	<p>Closed</p> <p>closed 3 months ago</p>
<p><b>Deploy: test of deploy angular project</b></p> <p>#7 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.3 - mockup + appV0 (A...</p> <p>coding</p>	<p>Closed</p> <p>closed 3 months ago</p>
<p><b>Tech choice: hotmaps (installation, analyse)</b></p> <p>#6 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.2 - analysis</p> <p>searching writing</p>	<p>Closed</p> <p>closed 3 months ago</p>
<p><b>Structure word file</b></p> <p>#5 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.3 - mockup + appV0 (A...</p> <p>searching writing</p>	<p>Closed</p> <p>closed 3 months ago</p>
<p><b>First version of Product backlog</b></p> <p>#4 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.1 - getting started 📅 Mar 31, 2023</p> <p>writing</p>	<p>Closed</p> <p>closed 4 months ago</p>
<p><b>Contact with team Energie et Environnement</b></p> <p>#3 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.1 - getting started 📅 Mar 16, 2023</p> <p>discussion</p>	<p>Closed</p> <p>closed 4 months ago</p>
<p><b>Contact with the main teacher</b></p> <p>#1 - created 4 months ago by Gwenaëlle Gustin ⌚ Sprint 0.1 - getting started</p> <p>discussion</p>	<p>Closed</p> <p>closed 4 months ago</p>

Figure 46 : Extrait de la liste de tâche du sprint 0  
Capturé en août 2023, G. Gustin

Ce sprint initial s'est subdivisé en trois :

- 0.1 - getting started (du 3 au 23 mars) : premier contact et définition des besoins ;
- 0.2 - analysis (du 23 mars au 13 avril) : analyse de Hotmaps, test d'une carte en React et Angular et choix technologique ;
- 0.3 - mockups + V0, (du 13 avril au 4 mai) : finalisation du product backlog (user stories avec mockups), déploiement d'une application Angular et installation de l'API.

Le rythme de trois semaines s'étant installé naturellement, il a été décidé de garder cette structure pour les autres sprints.

Ce sprint 0 a permis la prise de contact avec Professeur Philippe Jacquod et Julian Fritzsch. La communication a commencé par principalement l'écoute des besoins du GEEE, ensuite une première version du product backlog a été présentée. Pour cela, il a fallu initier le groupe à Scrum. Bien que n'ayant pas l'habitude de travailler avec une gestion de fonctionnalités comme celle-ci, les membres étaient très à l'écoute lors des explications. Cela a permis de compléter et prioriser le product backlog ensemble. L'estimation des story points, abrégé SP, a été faite après l'analyse des données et la création du projet test en Angular avec Leaflet, afin d'avoir une référence de 1 SP. Cette dernière est la user story #1 As a user I want to see a map so I have a background for PanTaGruEl grid.

Le projet test en Angular a servi à la création d'une carte de base pour les mockups. Afin d'avoir des visuels affichant les quatre types d'élément (*bus*, *branches*, *gens*, *loads*), les vraies données ont été utilisées dans ce test. Le placement manuel d'assez élément pour se faire une idée concrète du visuel aurait été plus long que de le coder. Cela a également permis de prendre en main les données. Ce projet est encore accessible au lien <https://pantagruel-frontend-old.netlify.app/>. Les mockups utilisant la carte ont été réalisés sur le logiciel Figma.

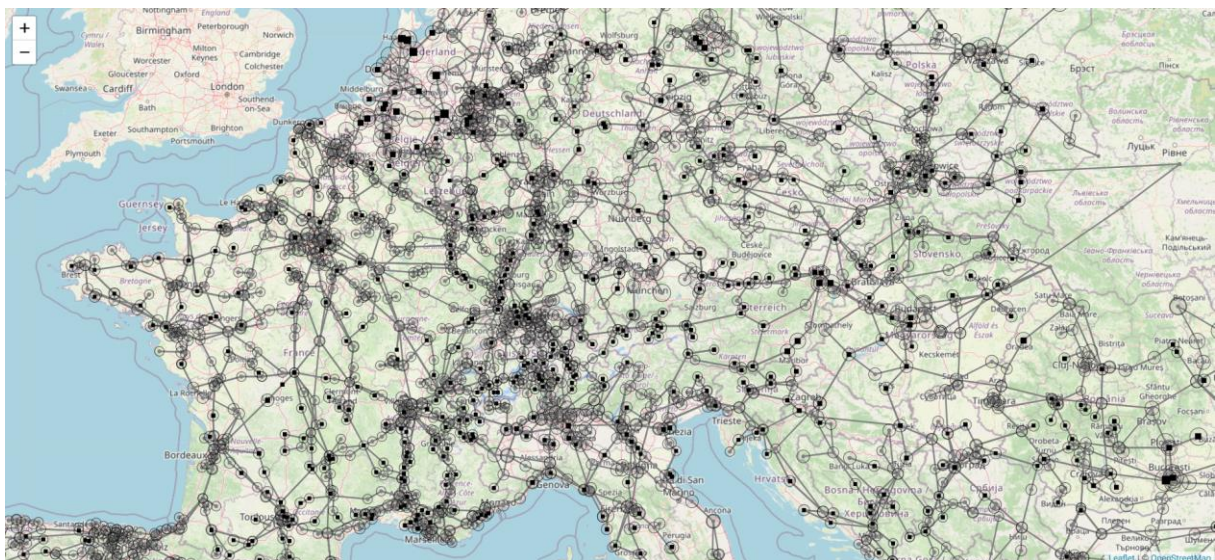


Figure 47 : Visuel du projet test du sprint 0  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

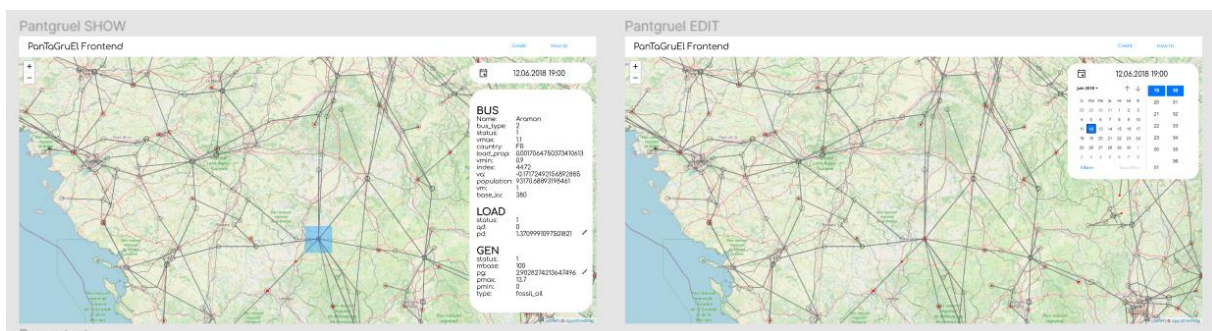
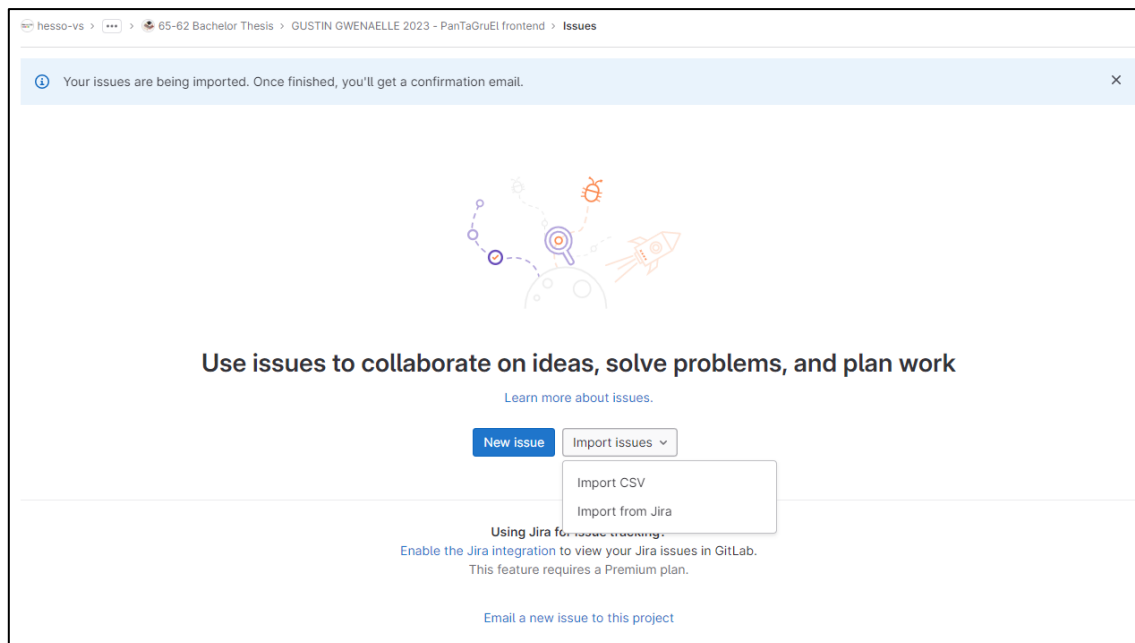


Figure 48 : Extrait des mockups du projet Figma  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Le code du projet test a été stocké dès le début sur un compte GitLab gratuit. Le choix de GitLab a été fait pour sa compatibilité Netlify ainsi que l'habitude d'utilisation. Comme indiqué dans le chapitre des choix technologiques, au sous-point 4.3.2 Déploiement frontend, les deux branches du code sont liées chacune à un projet Netlify. Plus de détails du CD peuvent être trouvés dans ce sous-chapitre.

Cependant cette version de GitLab ne permet pas de créer des user stories avec des story points. C'est pourquoi les user stories ont d'abord été décrites dans un fichier Excel. Ce fichier a été partagé avec le PO pour qu'il puisse définir la priorité et ajouter des user stories.

Le manque de lien entre le code et les user stories a poussé à la migration vers le GitLab Premium de la HES. L'Excel a pu directement être importé. Cette migration a eu lieu en transition du sprint 0 et 1. Le PO a été ajouté au projet afin qu'il puisse accéder au product backlog.



**Figure 49 : Fenêtre d'import d'issues dans GitLab depuis un fichier CSV**  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

## 5.2.2. SPRINT 1 - AFFICHAGE DES DONNÉES

Le premier sprint a eu lieu entre le jeudi 4 mai et le jeudi 25 mai et a donc duré trois semaines. Dix user stories concernant l’affichage, pour un total de 24 story points, ont été choisies. Beaucoup ont été testées durant le sprint 0 et ont en conséquence un poids assez léger. Sur les premières user stories, un essai de suivi du temps a tenté d’être réalisé, mais la réévaluation des story points a été priorisée et le temps abandonné.











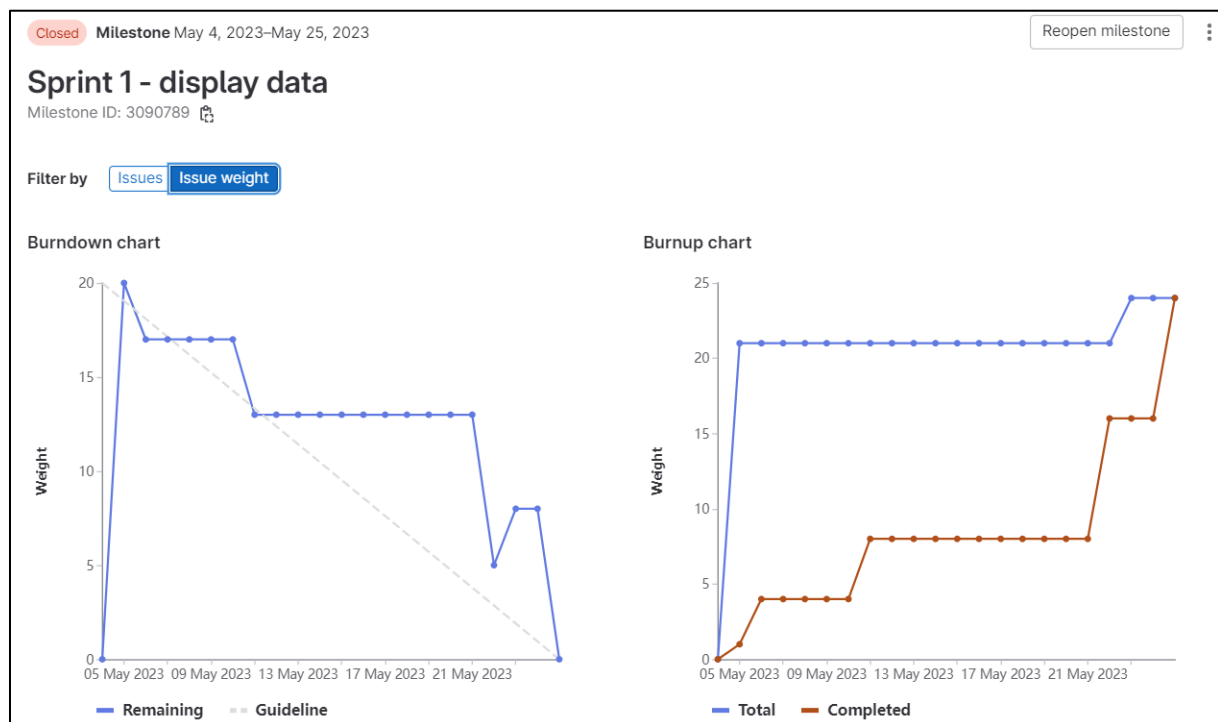
<p> <b>As a user I want to see a map so I have a background for PanTaGruEl grid</b>  #1 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 1h · 1  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a developer I want to deploy the app so I know it will be possible at the end</b>  #2 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 1h · 1  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to see a map with 4 types of elements (branch, bus, load, gen), so I can visualize the PanTaGruEl grid</b>  #3 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 3h · 2  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to see gens with different color so I can differentiate them</b>  #4 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 1h · 2  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to see loads with population proportional size so I can identify the most important loads</b>  #5 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 2  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to see gen poportional size base on max production so I can identify the most important gens</b>  #6 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 2  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to see branches with color based on the load so that i can identify weak element</b>  #7 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 2  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to see by visual display the ratio of production of gen so that i can identify weak element</b>  #8 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 2  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to see different width of branches so I can identify the most important branches</b>  #9 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 2  <b>US accepted</b></p>
<p> <b>As a user I want to access to details of a branch or a bus/gen/load so I can have more informations</b>  #10 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 1 - display data · 8  <b>US accepted</b></p>

Figure 50 : Liste des user stories du sprint 1  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

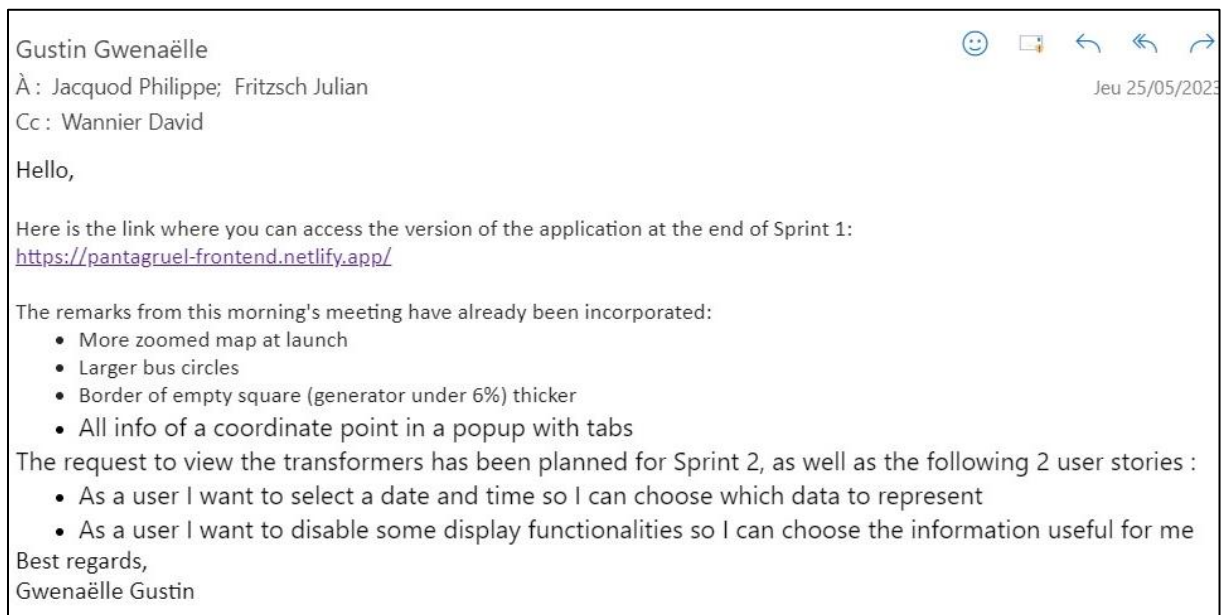
La US #10 était beaucoup très ambitieuse. Après plusieurs échecs d’affichage dans un popup comme demandé dans les critères d’acceptance, une solution provisoire de side panel a été mise en place. Le jour du sprint review, le popup a pu être implémenté. Le choix du popup a été validé durant ce rendez-vous.



Cette user story a été terminée in extremis comme le montre le burndown chart. Cette action n'a pas permis d'envoyer le lien de déploiement la veille au product owner. Cette mauvaise organisation a été prise en compte pour l'amélioration continue.



Le mail devant précéder la réunion a été envoyé juste après les trois retours précédents corrigés.



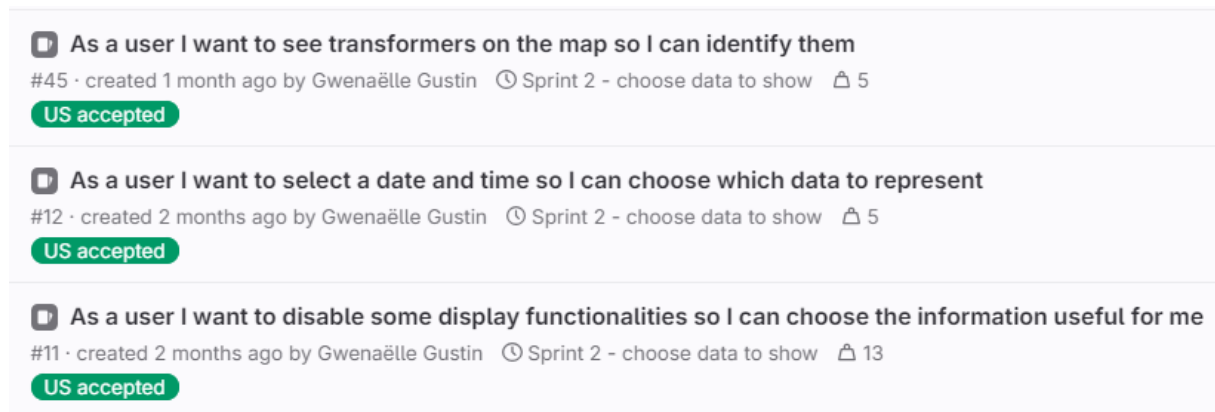
**Figure 52 : mail de fin de sprint 1**  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

À la fin de la réunion, une rétrospective informelle a révélé que les membres du GEEE étaient très contents de la première version de l'application et agréablement surpris par la structure qu'offre la méthodologie Scrum. Le souhait de continuer le projet après le travail de Bachelor a été exprimé.



### 5.2.3. SPRINT 2 - SÉLECTION DES DONNÉES À AFFICHER

Le sprint 2 est planifié du jeudi 25 mai au jeudi 15 juin. Seulement trois user stories ont été choisies, correspondant à 28 story points. Le but du sprint est d'offrir la possibilité à l'utilisateur de choisir les informations qu'il souhaite voir.



**As a user I want to see transformers on the map so I can identify them**  
#45 · created 1 month ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 2 - choose data to show · 5  
**US accepted**

**As a user I want to select a date and time so I can choose which data to represent**  
#12 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 2 - choose data to show · 5  
**US accepted**

**As a user I want to disable some display functionalities so I can choose the information useful for me**  
#11 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 2 - choose data to show · 13  
**US accepted**

Figure 53 : Liste des user stories du sprint 2  
Capturé en mai 2023, G. Gustin

Durant le sprint, des bugs (#46, #47 et #52) ont été détectés par l'équipe de développement. N'étant pas bloquants, ils ont été mis dans le product backlog pour pouvoir être pris en charge une fois les tâches en cours terminées.



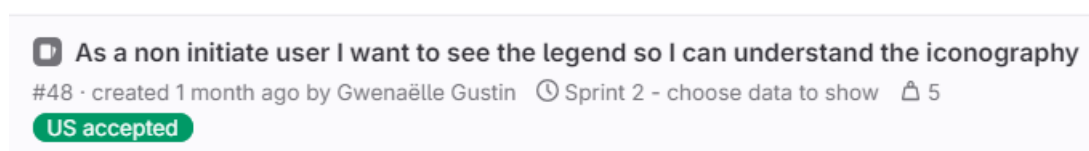
**! Date/time picker move depending on screen size**  
#52 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 2 - choose data to show

**! Popup display problem : more than 1 gen to a bus and 2 bus as same coord**  
#47 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 2 - choose data to show

**! Little square no more center on bus coord**  
#46 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 2 - choose data to show

Figure 54 : Liste des incidents du sprint 2  
Capturé en août 2023, G. Gustin

Ayant maintenant une carte bien chargée sous les yeux, il a finalement été décidé avec le product owner que cette dernière aurait besoin d'une légende. Cela a été ajouté le 27 mai au sprint en prévision de la désactivation/activation des éléments visuels. Ces options seront intégrées directement à la légende.



**As a non initiate user I want to see the legend so I can understand the iconography**  
#48 · created 1 month ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 2 - choose data to show · 5  
**US accepted**

Figure 55 : User story 48  
Capturé en août 2023, G. Gustin

Le 30 mai, le professeur Philippe Jacquod a remonté une erreur de données dans les popups des *branches*. Cela a été corrigé dans un hotfix, ainsi que l'affichage de multiples *bus* aux mêmes coordonnées (#47).

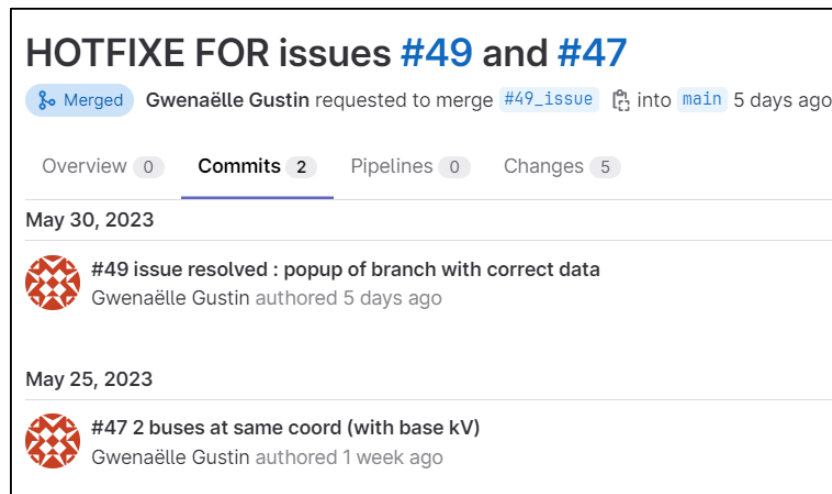


Figure 56 : Hotfix du sprint 2  
Capturé en juin 2023, G. Gustin

Pour ce 2<sup>e</sup> sprint, le mail a pu être envoyé la veille.

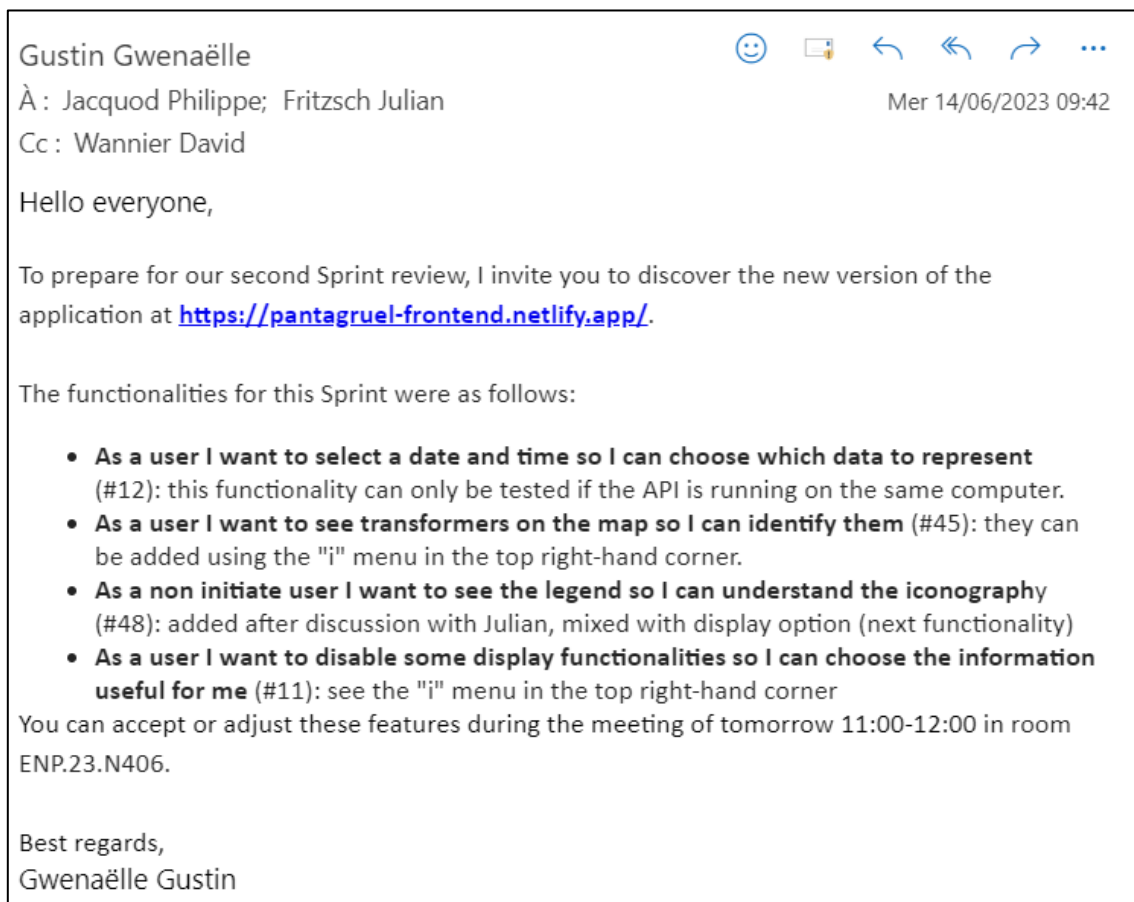


Figure 57 : Mail de fin de sprint 2  
Capturé en juin 2023, G. Gustin

Lors du sprint review, toutes les user stories ont été acceptées avec la correction de quelques détails :

- pour la #45, il manque de l'unité % dans le popup ;
- pour la #48, un changement de la phrase doit être fait pour les minimums et maximums de la production des *gens* et la limite thermique des lignes.

Le nombre total de story points s'élève à 28 et a été atteint dès la moitié du sprint. Plus de story points seront pris au sprint suivant.

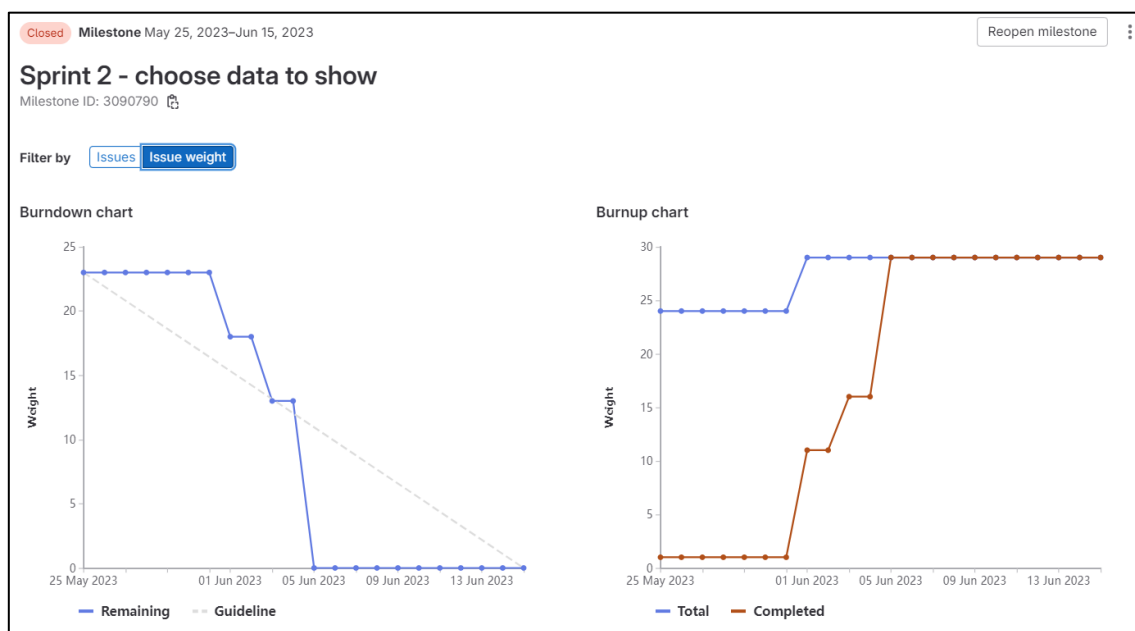


Figure 58 : Graphiques du sprint 2  
Capturé en juin 2023, G. Gustin

Deux nouvelles user stories ont été ajoutées suite à ce sprint review :

- #50 : As a user I want to see the direction of branches so I can more understand the direction of the flow
- #51 : As a user I want to play a scenario between two dates so I can see evolution in time

En fin de réunion, le professeur Philippe Jacquod a mentionné son étonnement concernant la rapidité de correction et a indiqué que le but de son mail n'était pas de mettre une pression mais bien de communiquer l'erreur. Cela a permis d'expliquer qu'un hotfix est normal en cas d'erreur importante et que cela a été corrigé durant les heures de travail dédiées.

#### 5.2.4. SPRINT 3 - CRÉATION DE SCÉNARIOS

Le sprint 3 est planifié du jeudi 15 juin au jeudi 13 juillet. Ce sprint a une longueur de quatre semaines, causée par les vacances d'un membre devant être présent au review. Le cœur de ce sprint est la création de scénario. Les user stories #13, #14, #15, #18, #17, #25 et #16, pour un total de 29 story points ont été prévues. Les US #18 et #16 ont ensuite été réévalués à la hausse. Lors de discussions concernant la user story #14, il a été indiqué que les données retournées dans les *branches* après un calcul pouvaient être incohérentes : le 100% peut être dépassé. La US #53 a été créée afin d'afficher ces données. Au total 40 story points étaient à faire pour ce sprint.

<p>As a user I want to differentiate the elements of the map at all zoom levels so that I can work at different scales</p> <p>#16 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 5</p> <p>US accepted</p>
<p>As a user I want to choose AC / DC powerflow mode before generate a new grid so I can have the calculation mode adapted to my needs</p> <p>#25 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 3</p> <p>US accepted</p>
<p>As a user I want to export a high resolution image of the map so I can transmit data to external people</p> <p>#17 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 5</p> <p>US accepted</p>
<p>As a user I want to share a permalink so I can show a scenario to external people</p> <p>#18 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 8</p> <p>US accepted</p>
<p>As a user I want to enable/disable branches so I can see the impact on the rest of the grid</p> <p>#15 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 3</p> <p>US accepted</p>
<p>As a user I want to increase/decrease the consumption of a load so I can see the impact on the rest of the grid</p> <p>#14 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 5</p> <p>US accepted</p>
<p>As a user I want to be aware of branch with a load injected more than 100% so I can see the risk of failure of the grid</p> <p>#53 · created 4 weeks ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 3</p> <p>US accepted</p>
<p>As a user I want to increase/decrease power in MW of a gen so I can see the impact on the rest of the grid</p> <p>#13 · created 2 months ago by Gwenaëlle Gustin · Sprint 3 - create scenario · 8</p> <p>US accepted</p>

Figure 59 : Liste des user stories du sprint 3  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Durant ce sprint, deux bases de données sur Firebase ont été créées pour répondre à #18 et l'API a pu être déployée. La structure finale de l'application se trouve en Annexe V : Architecture de l'application.

Un scénario de test est accessible à ce lien : <https://pantagruel-frontend.netlify.app/?scenario=2023-07-13-11-19-32Change-Kriegers-Flak.json>

Un grand travail de nettoyage et de réorganisation du code a été effectué afin d'améliorer la lisibilité du code, cette action est appelée refactor. Les dossiers ont été renommés, voir Figure 60 et Figure 61, les méthodes renommées et la structure du code documentée. Cette documentation peut être trouvée dans l'Annexe VI : Structure du code.

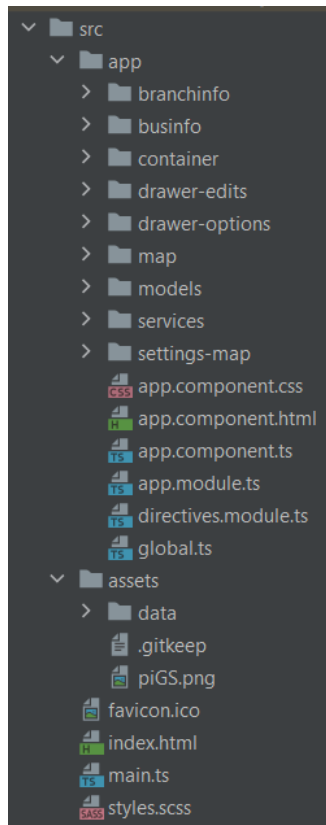


Figure 60 : Structure du code avant refactor  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

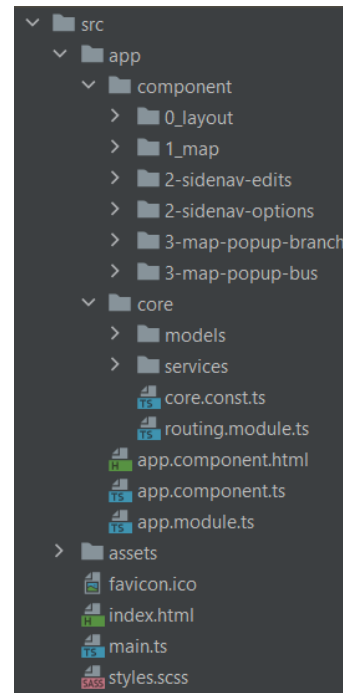


Figure 61 : Structure du code après refactor  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Le mail a été envoyé plus de 24h à l'avance.

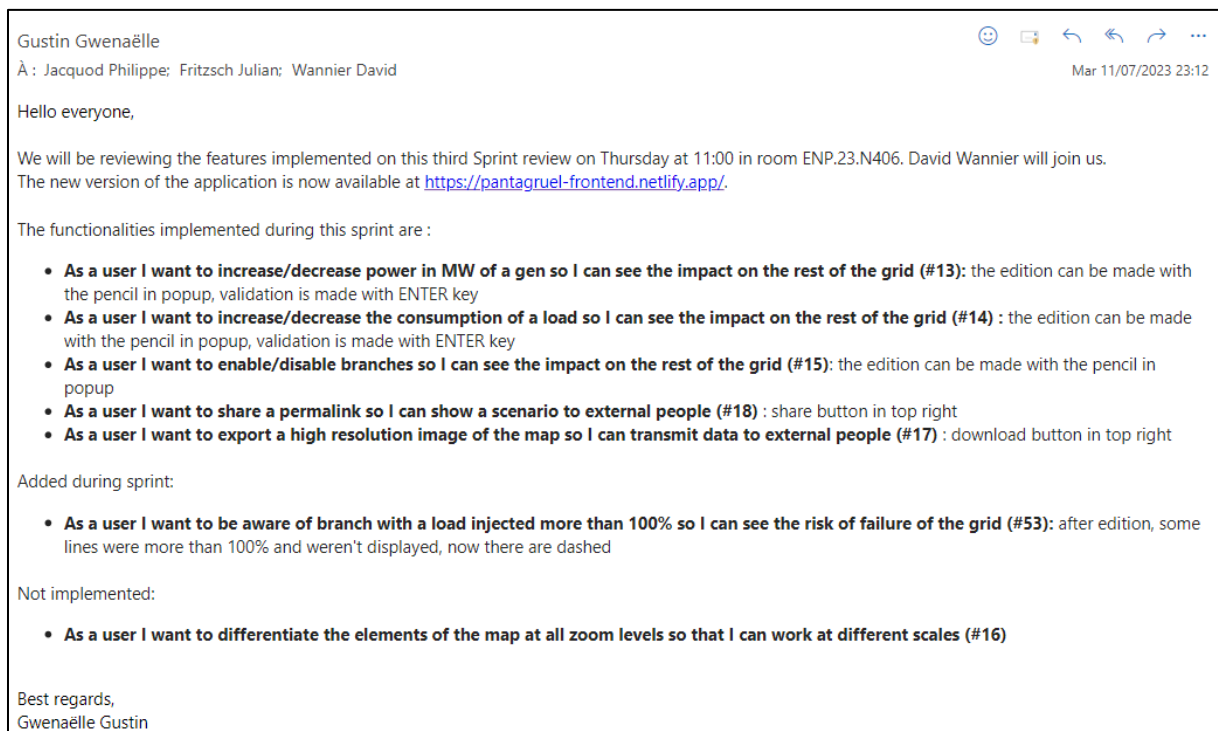


Figure 62 : Mail de fin de sprint 3  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Lors du sprint review, toutes les user stories ont été acceptées à la condition de créer certains incidents et user stories :

- Incident #55 : Download image on Firefox not working : ce bug a été trouvé lors du sprint review, mais la user story a été acceptée avec un seul navigateur compatible pour la user story #17.
- Use story #56: As a external user I want to have a list of value (-/+ %) so I can edit consumption/production easier : les user story #13 et #14 ont été acceptées avec la validation des modifications de données par le Enter. Mais une réflexion s'est lancée sur l'amélioration d'ergonomie pour les utilisateurs non initiés et s'en est conclu la US #56.
- Incident #57: Hide raw data in main app (let in dev): dans l'idée de #56, il faut cacher ce qui n'est pas nécessaire aux utilisateurs non initiés.
- Use story #58 : As an external user I want to have information on the app (compatibility, tutorial) so I can use the app properly.

La user story #16 n'a pas pu être implémentée durant le sprint. Au vu de son estimation et du burndown chart, il n'y avait pas assez de temps. Durant le sprint review, une version alternative plus simple de la fonctionnalité a été acceptée par l'équipe de développement, afin de l'intégrer au sprint. Cependant lors de l'implémentation, la version définitive était plus simple à mettre en place que l'alternative. Elle a été validée durant la suite de la journée.

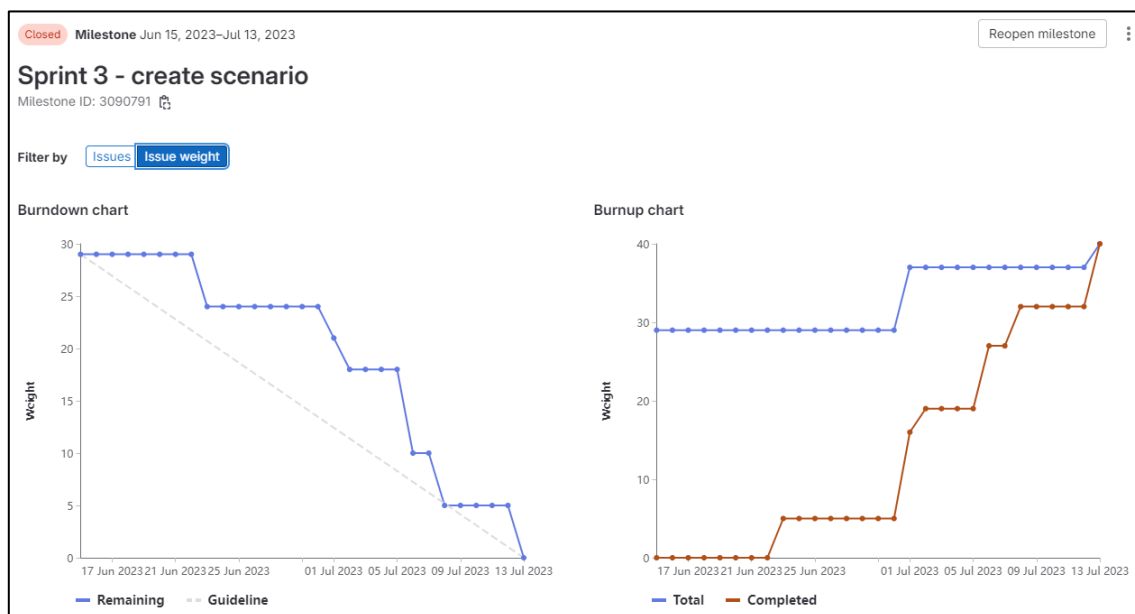


Figure 63 : Graphiques du sprint 3  
Capturé en juin 2023, G. Gustin

Une rétrospective plus formelle a permis de mettre en évidence les points suivants :

- L'application délivrée à chaque fin de sprint permet d'avoir une base très pratique pour parler des améliorations et des nouvelles fonctionnalités. Cela est possible grâce à la méthodologie Scrum.
- La version accessible dépasse déjà les attentes du professeur Jacquod, qui est agréablement surpris de la collaboration avec une personne ne venant pas du domaine scientifique. La compréhension des données était un point critique.
- Une bonne communication et une indépendance de l'équipe de développement permettent une organisation et des sprint reviews structurés. La pertinence des questions de l'auteur a été mentionnée.

Après le sprint review, l'équipe de développement a réfléchi à comment rendre le site accessible avec l'architecture du site du GEEE, etranslec.ch. Un déploiement sur GitHub a montré un bug avec le chemin relatif lors de la création de lien partageable. Cela a été corrigé dans l'incident #59 Shareable link not working if deploy with mydomain.com/myproject. L'application est depuis ce moment disponible au lien suivant : <https://etranselec.ch/pantafrontend/>. Il faudra simplement mettre à jour le code de GitHub avec la dernière version de GitLab à la fin de ce travail de Bachelor.

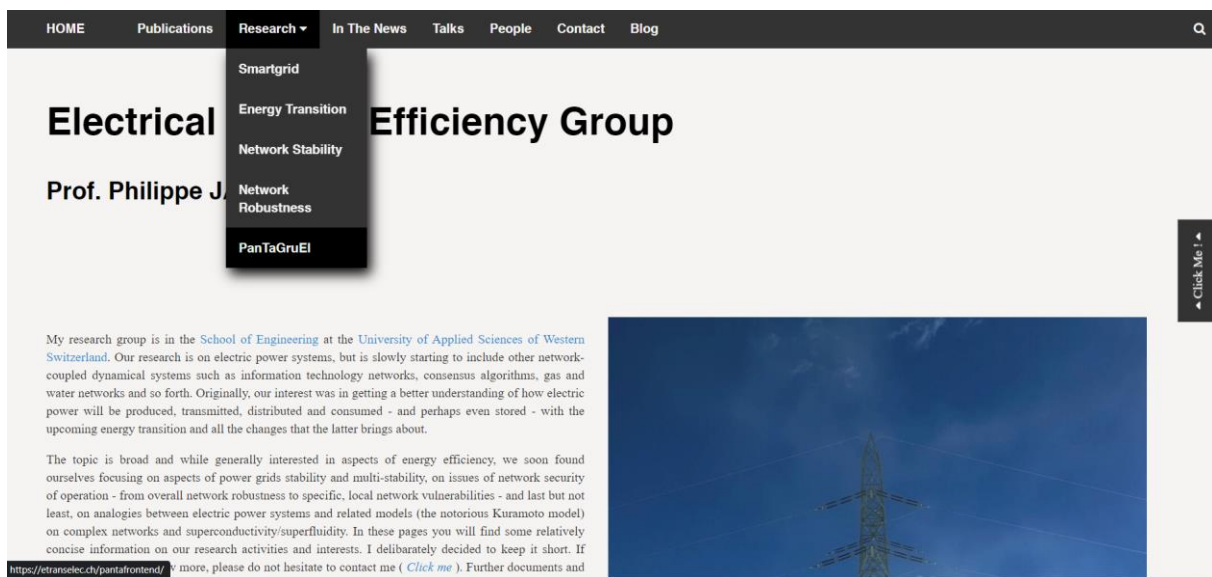


Figure 64 : Nouveau menu sur le site estranselec.ch pour accéder à l'application  
Capturé en juin 2023, G. Gustin



### 5.2.5. SPRINT 4 - GESTION DE L'ÉDITION

En conséquence du sprint 3 plus long, le sprint 4 a duré 15 jours, du jeudi 13 juillet au vendredi 29 juillet. Pour permettre à ce dernier sprint de se terminer sans mauvaise surprise, seulement 13 SP ont été choisies avec les user stories #44, #50 et #19. Ces fonctionnalités ont pour but d'améliorer l'expérience utilisateur lors de la création de scénarios.

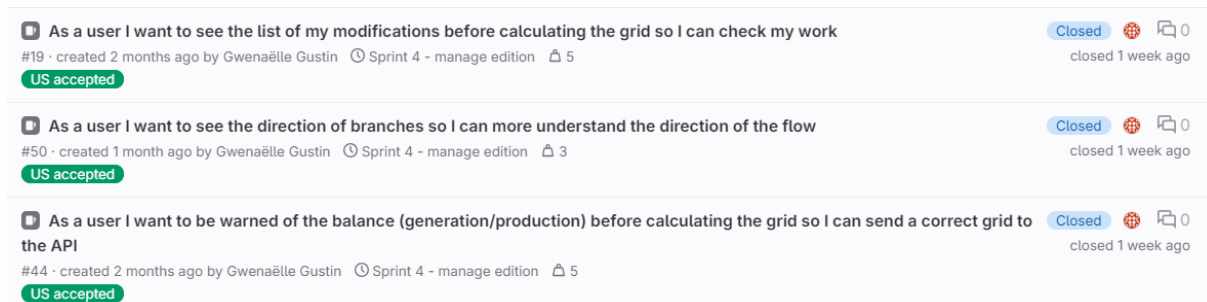


Figure 65 : Liste des user stories du sprint 4  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Comme le montre le burndown chart ci-dessous, la masse de travail a été surestimée. Après toutes les US terminées, une rapide discussion avec le PO a permis de confirmer la US la plus prioritaire pour l'ajouter au sprint : #16 As a user I want to provide data for each country to generate different scenarios.

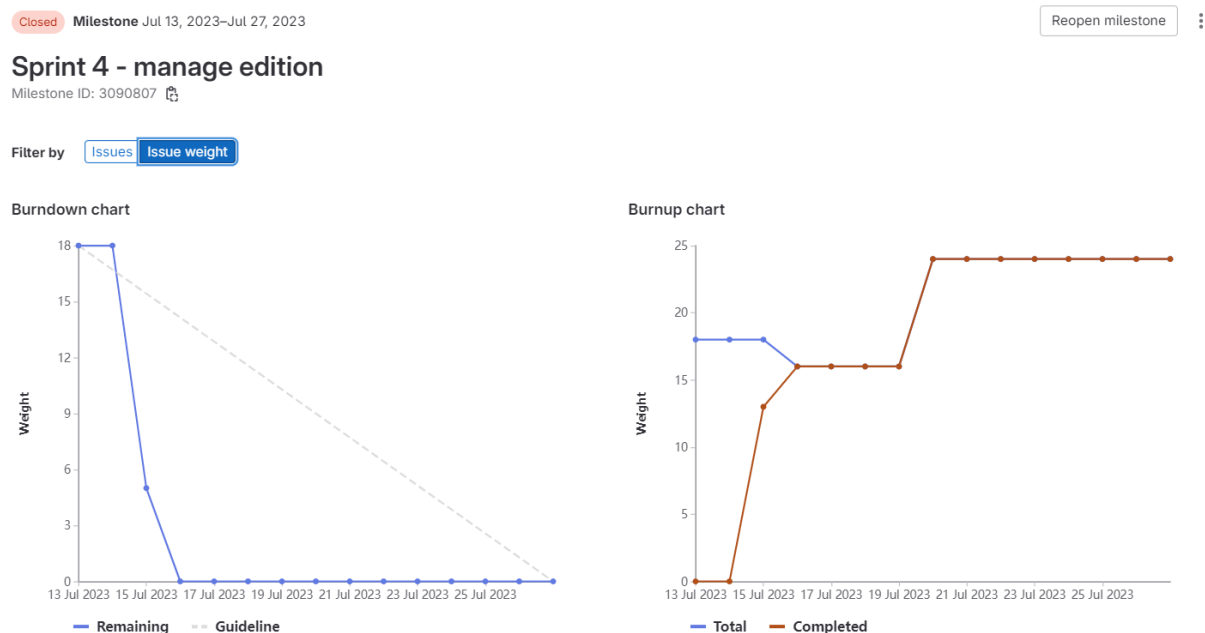


Figure 66 : Graphiques du sprint 4  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Afin de rendre le mail d'invitation au sprint review plus attractif, des captures d'écrans ont été ajoutées pour le mail du sprint 4.

**De :** Gustin Gwenaëlle <gwenaelle.gustin@students.hevs.ch>  
**Envoyé :** jeudi 27 juillet 2023 15:10  
**À :** Jacquod Philippe <philippe.jacquod@hevs.ch>; Fritzsich Julian <julian.fritzsich@hevs.ch>  
**Cc :** Wannier David <david.wannier@hevs.ch>  
**Objet :** PanTaGruEl Frontend - Sprint review 4 (and last)

Hello everyone,

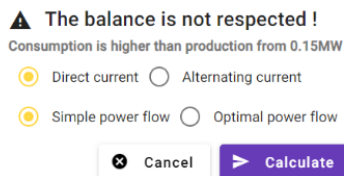
We'll meet at 11am on Friday for the 4th and final sprint review of my bachelor's thesis.  
 The updated version can be found at <https://pantagruel-frontend.netlify.app/>

The bugs that have been fixed are :

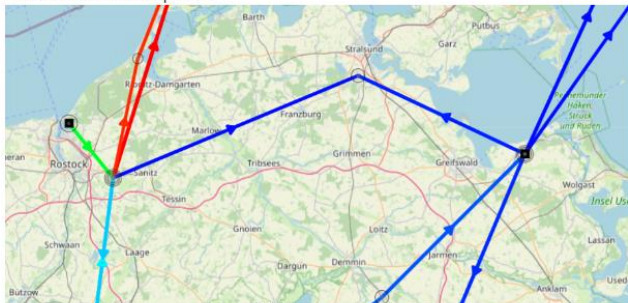
- Download image on Firefox (#55)
- Shareable link work on other system of deployment, tested with GitHub (#59)
- Hide raw data on main app, always visible on [dev app](#) (#57)

The functionalities implemented during this sprint are :

- As a user I want to be warned of the balance (generation/production) before calculating the grid so I can send a correct grid to the API (#44)



- As a user I want to see the direction of branches so I can more understand the direction of the flow (#50):  
Can be disabled in options



- As a user I want to see the list of my modifications before calculating the grid so I can check my work (#19) and As a user I want to click on the edited bus (in list) to refocus the map and show information so I can verify my modifications (#20) :  
The change can be deleted directly from the list

#### Kriegers Flak DK (5900)

⚡ 220 kV (load 2922) ✖  
 Consumption modified from 1.85 to 100 MW  
 ⚡ 5899 (132kV) → 5900 (220kV) ✖  
 Transformer 7824 has been disabled

#### Kriegers Flak DK (5899)

☐ Gas - fossil\_coal\_gas (gen 951) ✖  
 Production modified from 0 to 100 MW  
 ⚡ 5899 (132kV) → 5900 (220kV) ✖  
 Transformer 7824 has been disabled  
 \ 5821 (132kV) → 5899 (132kV) ✖  
 Line 6744 has been disabled

Not initially planned:

- As a user I want to provide data for each country to generate different scenarios (#21)

Alpha-2	Country	Active power consumption
AT	Austria	8245 MW
BA	Bosnia And Herzegovina	1192 MW
BE	Belgium	10567 MW
BG	Bulgaria	4343 MW
CH	Switzerland	7189 MW
CZ	Czech Republic	8012 MW
DE	Germany	64551 MW
DK	Denmark	4633 MW
ES	Spain	28994 MW
FR	France	48752 MW
GR	Greece	6223 MW
HR	Croatia	2243 MW
HU	Hungary	5343 MW
IT	Italy	40587 MW
ME	Montenegro	363 MW
NL	Netherlands	13942 MW

Buttons: Cancel, Ask AC dispatch, Ask DC dispatch

Best regards,  
Gwenaëlle Gustin

**Figure 67 : Mail de fin de sprint 4**  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Le total des 24 SP a été accepté durant le sprint review. Deux points ont été discutés :

- Un bug (#60 Check date before calling API always fails) a été découvert durant la démonstration. Etant une fonctionnalité importante, cela a été corrigé et mergé dans la journée du review.
- La user story #16 est acceptée telle quelle mais une nouvelle a été créée pour permettre un remplissage plus rapide des champs : #61 As a user, I want to copy and paste the load values by country so that I can fill in all the fields at once. Le format exact des données devra être défini précisément.

La rétrospective finale s'est principalement constituée de remerciements respectifs pour la bonne collaboration et de la volonté de garder contact pour la suite du projet. Les points déjà abordés durant les autres rétrospectives ont été rappelés, comme l'avantage d'avoir une version améliorée régulièrement grâce aux sprints courts et la bonne communication.

### 5.3. DEVOPS

Le DevOps est un état d'esprit agile permettant d'accélérer le processus de développement de produits. Cela passe par une communication et une intégration efficace. Le CI/CD est une des stratégies de DevOps qui utilise des outils de test, de build et parfois de déploiement automatisé (Singh, 2022). Plus précisément, l'intégration continue, CI, inclue les pratiques permettant la fusion de code dans un référentiel commun où l'on peut retrouver l'historique des versions et exécuter des tests et des builds automatisés. Le déploiement continu, CD, permet de faciliter le déploiement, par exemple par son automatisation lors de l'arrivée de modification.

Pour ce travail, tous les outils de CI/CD n'ont pas pu être mis en place. Mais la philosophie DevOps est présente depuis le début. Avant de faire un retour d'expérience de GitLab et Netlify, voici les outils utilisés en lien avec les étapes du DevOps :

- **Plan** : la planification a été faite dans GitLab, avec la création des issues et des milestones (terme GitLab) ;
- **Code** : le code a été versionné au moyen de Git sur deux branches, dev et main, et stocké sur GitLab ;
- **Build** : un build automatique se fait lors d'un push sur la branche dev, au moyen d'un projet Netlify lié à cette branche ;
- **Test** : les tests n'ont malheureusement pas été automatisés, ils ont été faits manuellement sur le site de test déployé par Netlify ;
- **Release** : si tous les tests étaient concluants, la branche de dev était fusionnée avec la main, avec une merge request sur GitLab ;
- **Deploy** : lors d'un merge, le projet Netlify lié à la branche main déclenche la publication du nouveau code ;
- Les étapes **Operate** et **Monitor** n'ont pas été mise en place.

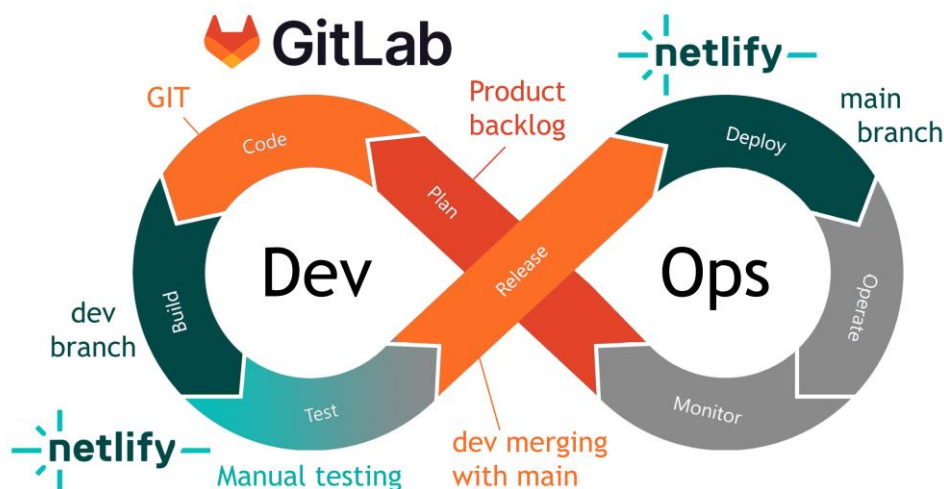


Figure 68 : Processus DevOps de l'application  
Source de l'auteur

### 5.3.1. GITLAB

GitLab a été utile pour le suivi des tâches durant les sprints, autant pour les user stories que les incidents. Malheureusement, toutes les fonctionnalités n'ont pas pu être utilisées. Les pipelines ont été testés pour le déploiement de l'API avant la mise en place du Docker sur le serveur de la HES, mais cela n'a pas abouti.









































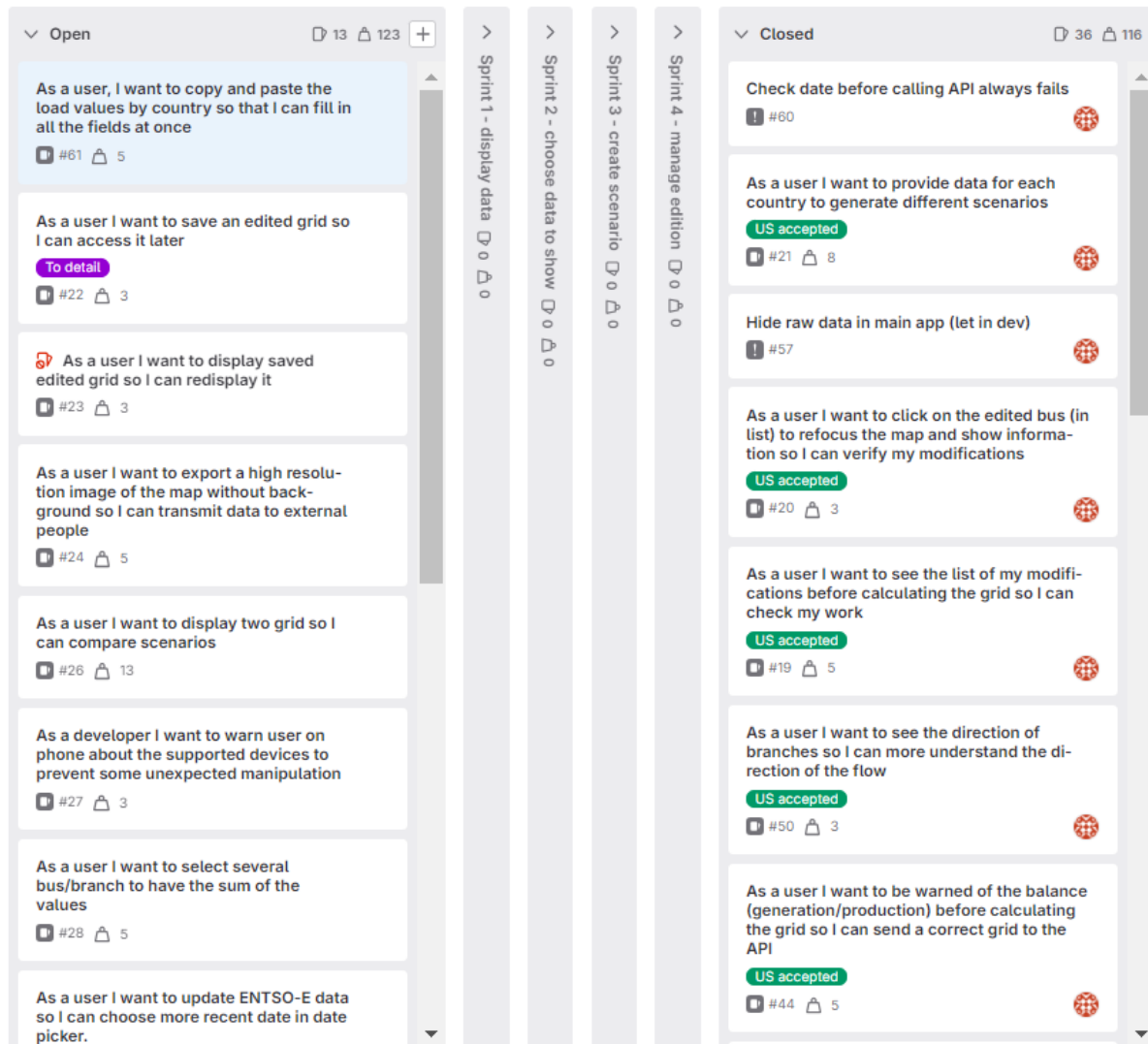
Status	Pipeline	Triggerer	Stages
 failed 00:00:56 2 months ago	example form <a href="https://gitlab.com/vyush/Xnumber.jl/-/...">https://gitlab.com/vyush/Xnumber.jl/-/...</a> #888869190 main 8234e734 		
 failed 2 months ago	julia 1.9 #888868214 main 35f8b2d3  yaml invalid error		
 failed 00:00:59 2 months ago	test #888866669 main d42658cd 		 
 failed 00:00:26 2 months ago	using Pkg; Pkg.add + github link #888865876 main 86de171a 		
 passed 00:00:26 2 months ago	just deploy #888865262 main 4ec3e5b8 		
 passed 00:01:40 2 months ago	tuto gitlab #888863211 main 7b6ac344 		  
 failed 00:01:23 2 months ago	script in deploy #859342362 main f04ee7a5 		
 failed 00:01:22 2 months ago	delete test #859339473 main 8c347d38 		
 failed 00:01:23 2 months ago	restart #859338746 main a8f40ac5 		 

Figure 69 : Extrait des essais de pipeline sur GitLab pour l'API  
Capturé en août 2023, G. Gustin

L'estimation du temps sur une tâche se fait avec la quick action /estimate, ce qui n'est pas vraiment pratique par rapport aux autres informations à entrer directement depuis l'interface. C'est une des raisons qui a découragé son utilisation.

La fonctionnalité de mettre des tâches sous une user story a été utilisée au début mais vite abandonnée. Lorsque la user story est marquée comme terminée, les sous-tâches ne le sont pas. Les graphiques sont alors déréglés.

GitLab ne propose pas de champ pour entrer la priorité. Pour le projet, cet ordre a donc été fait avec le placement des user stories dans le Issue bord et n'est donc pas visible dans l'export se trouvant en Annexe IV : Product backlog. Les entreprises utilisent en général les labels pour la priorisation.



**Figure 70 : Issue board de GitLab au moment du rendu de projet**  
Capturé en août 2023, G. Gustin

Les epics ont été ajoutées dans l'annexe après l'export car elles doivent être créés à un niveau plus haut et sont accessibles à tous les membres du GitLab de la HES, ce qui n'est pas désiré dans ce cas.

GitLab propose des graphiques dans l'onglet Analyze. Cependant, ils se concentrent plus sur les pipelines, le nombre de commit et les utilisateurs. N'ayant pas réussi à présenter une release roadmap comme étudiée dans les cours Scrum, les données ont été reportées dans un Excel afin de présenter les graphiques nécessaires, dans le chapitre 5.4 Vitesse et release roadmap.

### 5.3.2. NETLIFY

Netlify dans sa version gratuite limite les possibilités de travail collaboratif ainsi que les données d'analyse. Cette version suffit pour automatiser le déploiement. La création d'un projet, la navigation et les logs sont faciles à prendre en main.

```

Deploy log
> Initializing Complete
> Building Complete
> Deploying Complete
> Cleanup Complete
▼ Post-processing Complete
141 10:23:56 PM: Starting post processing
142 10:23:56 PM: Skipping HTML post processing
143 10:23:57 PM: Post processing - header rules
144 10:23:57 PM: Post processing - redirect rules
145 10:23:57 PM: Post processing done
146 10:23:57 PM: Section completed: postprocessing
147 10:23:58 PM: Site is live 🌟

```

Figure 71 : Logs Netlify en cas de déploiement réussi  
Capturé en août 2023, sur Netlify, <https://app.netlify.com/>

Certains builds ont échoué à cause d'erreurs dans le code, non détectées par le programme servant d'IDE. Mais grâce aux logs Netlify accessibles depuis l'interface web, la correction a pu être faite directement.

Deux cas plus problématiques ont été rencontrés. Le premier est apparu lors de la création du projet. Le site ne publiait pas, alors que le build avait l'air de réussir. Il manquait les paramètres de build à configurer dans les options du projet. Ce problème venait certainement d'un manque de connaissances d'Angular. Ces paramètres à entrer ont été décrits dans 4.3.2 Déploiement frontend.

Le deuxième a été causé par les valeurs de budgets maximum définies dans le fichier angular.json. Après quelques recherches, cette configuration a pu être modifiée et une merge request exceptionnelle a été réalisée.

```

Deploy log
89 2:06:49 PM: Error: bundle initial exceeded maximum budget. Budget 1.00 MB was not met by 76.36 kB with a total of 1.07 MB.
90 2:06:49 PM:
91 2:06:49 PM:
92 2:06:49 PM:
93 2:06:49 PM: "build.command" failed
94 2:06:49 PM:
95 2:06:49 PM:
96 2:06:49 PM: Error message
97 2:06:49 PM: Command failed with exit code 1: ng build (https://ntl.fyi/exit-code-1)
98 2:06:49 PM:
99 2:06:49 PM: Error location
100 2:06:49 PM: In Build command from Netlify app:
101 2:06:49 PM: ng build
102 2:06:49 PM:
103 2:06:49 PM: Resolved config
104 2:06:49 PM: build:
105 2:06:49 PM:   command: ng build
106 2:06:49 PM:   commandOrigin: ui
107 2:06:49 PM:   publish: /opt/build/repo/dist/pan-ta-gru-el-frontend
108 2:06:49 PM:   publishOrigin: ui
109 2:06:50 PM: Build failed due to a user error: Build script returned non-zero exit code: 2
110 2:06:50 PM: Failing build: Failed to build site
111 2:06:50 PM: Finished processing build request in 44.202s

Deploying [✓] Skipped

```

Figure 72 : Logs Netlify de l'échec du déploiement du 27 mai 2023  
Capturé en août 2023, sur Netlify, <https://app.netlify.com/>



## 5.4. VÉLOCITÉ ET RELEASE ROADMAP

La première valeur analysée est la vélocité. Cet indicateur permet de définir la quantité de travail que peut fournir une équipe agile sur un sprint. Dû au changement de longueur de deux sprints, un a été raccourci d'une semaine et l'autre allongé d'une, les calculs de cette valeur ont été adaptés. Le nombre de story points a d'abord été divisé par le nombre de semaines du sprint, et ensuite multiplié par 3. Cette manipulation permet d'avoir la moyenne de SP par période de 3 semaines, la longueur initialement prévue pour chaque sprint. Cette moyenne commence à 24 SP, puis augmente à 26 SP, s'élève ensuite à 27,5 SP et termine à 29,5 SP. La vélocité n'a pas pu se stabiliser durant la durée à disposition. Pour estimer la fin du projet, la vélocité d'un sprint de trois semaines sera estimée à 30 SP.

Avec une valeur de 30 SP par sprint et les 123 SP restants, le projet prendrait un peu plus de quatre sprints pour être terminé, il faut donc en compter cinq. Cela est soumis à quelques conditions : que le temps de travail à disposition reste le même, qu'aucune fonctionnalité ne soit ajoutée et qu'aucun bug conséquent ne soit découvert.

Sprint	0	1	2	3	4
Number of weeks		3	3	4	2
SP done per sprint		24	28	40	24
SP done per week of the sprint		8,0	9,3	10,0	12,0
SP done reported for 3-week period		24,0	28,0	30,0	36,0
Average per 3-week period		24,0	26,0	27,3	29,5
Todo		168	161	142	123
Rejected		0	0	0	0
Done (cumulative)		24	52	92	116

Tableau 8 : Valeurs pour le calcul de vélocité et release roadmap du projet  
Source de l'auteur

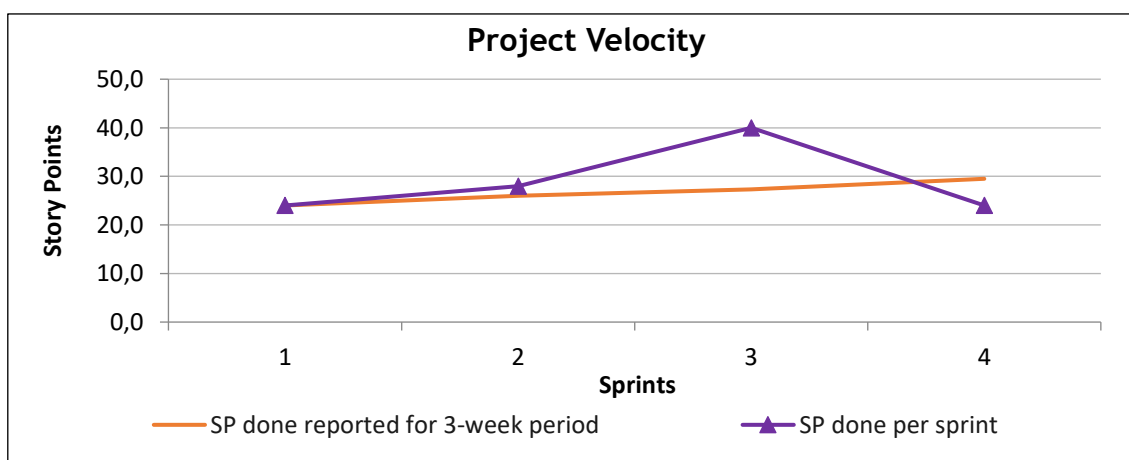


Figure 73: Graphique de la vélocité du projet  
Source de l'auteur

La release roadmap permet de mettre en avant le travail réalisé proportionnellement à la quantité totale. Dans le schéma ci-dessous, deux aspects ressortent : aucune user story n'a été refusée et il reste environ la moitié des story points en Todo.

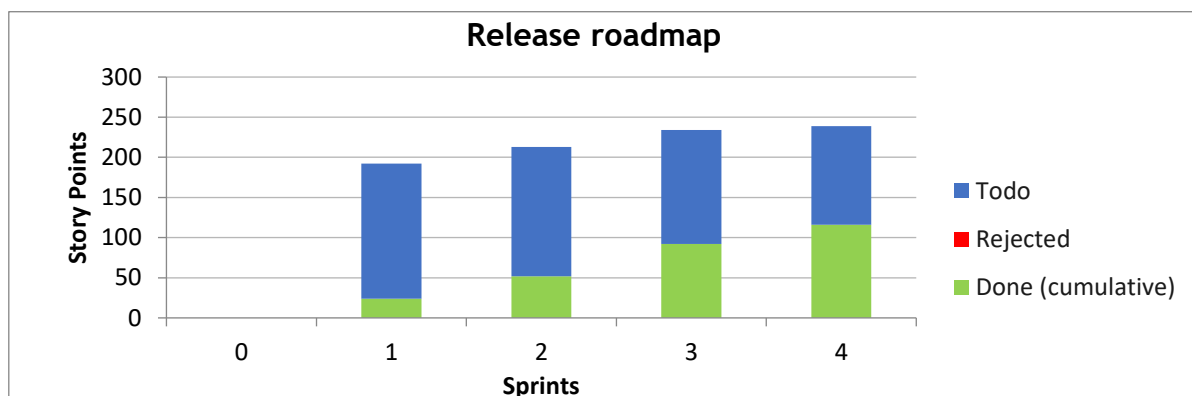


Figure 74 : Release roadmap du projet  
Source de l'auteur

Le dernier graphique ci-dessous permet de visualiser la stabilité du projet. La réestimation de story points n'a été nécessaire qu'au sprint 3. A chaque sprint, de nouvelles user stories ont été ajoutées, mais la quantité de SP restant à faire a globalement diminué.

Sprints	0	1	2	3	4
Total of SP at beginning of sprint	0	187	168	161	142
Number of SP selected for sprint	0	24	28	40	24
Changed estimate	0	0	0	5	0
New US in story points	0	5	21	16	5
Total SP at end of sprint	0	168	161	142	123
Scope change	0	-5	-21	-21	-5

Tableau 9 : Valeurs pour la variabilité du projet  
Source de l'auteur

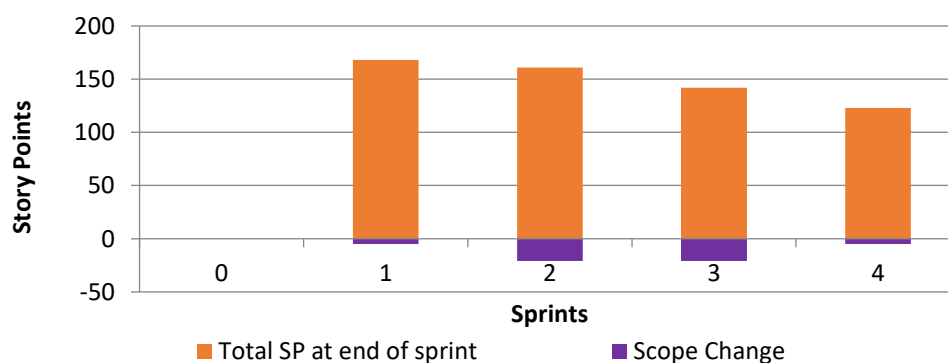


Figure 75 : Graphique de variabilité du projet  
Source de l'auteur

## 5.5. VERSION FINALE (USER GUIDE)

La version finale de l'application est accessible via le lien <https://pantagruel-frontend.netlify.app/>. Le GEEE l'a également publiée sur son site, mais la mise à jour ne se fait pas automatiquement lors d'un merge : <https://etranselec.ch/pantafrontend/>

L'application se sépare en trois grandes parties :

- en haut, la barre de titre avec le nom de l'application à gauche, les menus pour la modification de la consommation au centre et les autres menus à droite ;
- au centre, la carte couvre la grande partie de l'affichage ;
- à droite, le panneau latéral contient soit les options soit les modifications, s'il est ouvert.

Titre	Modification de la consommation	Autres menus
Carte		Panneau latéral

Tableau 10 : Structure de l'interface de l'application  
Tableau de l'auteur

Tous les messages sont affichés dans des petites zones apparaissant un court instant en bas de la page, appelés snackbars.

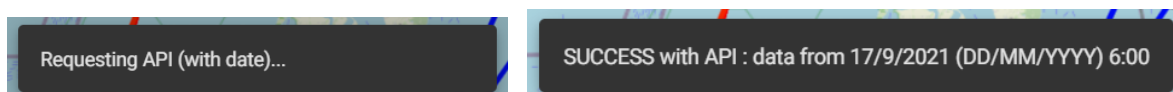


Figure 76 : Exemples de snackbar  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

La modification de la consommation peut se faire depuis le milieu de la barre de titre par deux moyens :

- par le choix d'une date et d'une heure dans les données disponibles et nettoyées de l'ENTSO-E ;
- par l'entrée manuelle des consommations par pays.

Alpha-2	Country	Active power consumption
AT	Austria	8245 MW
BA	Bosnia And Herzegovina	1192 MW
BE	Belgium	10567 MW
BG	Bulgaria	4343 MW
CH	Switzerland	7189 MW
CZ	Czech Republic	8012 MW
DE	Germany	64551 MW
DK	Denmark	4633 MW
ES	Spain	28994 MW
FR	France	48752 MW
GR	Greece	6223 MW
HR	Croatia	2243 MW
HU	Hungary	5343 MW
IT	Italy	40587 MW
ME	Montenegro	363 MW
NI	Netherlands	13042 MW

Figure 77 : Fenêtre de modification de consommation par pays  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Les options s'ouvrent au moyen de la roue dentée en au haut à droite . Le choix des éléments à afficher est fait par des boutons on/off et doit ensuite être validé par :

- Le bouton « Apply » pour juste appliquer ;
- Le bouton « Save » pour appliquer et sauvegarder les options ainsi que le positionnement de la carte.

Les autres boutons servent à :

- Revenir à la carte par défaut avec le bouton « Default » ;
- Réappliquer les dernières options sauvegardées avec la flèche circulaire .

The screenshot shows a settings panel with a purple header containing icons for share, download, and settings. Below the header are buttons for 'Default', a refresh icon, a save icon, and an 'Apply' button.

- Generators**
  - Ratio of production**
    - ☒ More than 94 %
    - ☒ Between 6 and 94 %
    - ☐ Less than 6 %
    - ☒ Inactive
  - Maximum of production**
    - From 1 MW to 5460 MW [Progress bar]
  - Category**
    - Coal (dark red), Fossil oil (grey), Gas (orange), Hydro (blue)
    - Nuclear (red), Other (purple), Renewables (green), Unknown (black)
- Lines**
  - Load (power/thermal rating)**
    - Inactive: ☐
    - From 0 to 100% [Color bar]
    - More than 100% [Progress bar]
  - Thermal rating**
    - From 140 MW to 5400 MW [Progress bar]
- Transformers**
  - Load (power/thermal rating)**
    - Inactive: ☐
    - From 0 to 100% [Color bar]
    - More than 100% [Progress bar]
- Loads**
  - Activity**
    - Active load: ☒
    - Inactive load: ☒
  - Population**
    - From 0 to 1048824 [Progress bar]
- Buses**
  - Activity**
    - Active bus: ☒
    - Inactive bus: ☐

Figure 78 : Panneau d'options de l'application finale  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Le panneau des modifications s'ouvre automatiquement à la première modification. Pour cela, il faut cliquer sur l'élément désiré et ensuite sur le bouton pour passer en mode édition. À partir de là, toutes les valeurs pouvant être modifiées changeront d'aspect. Pour valider une modification numérique, il faut appuyer sur la touche Enter.

The popup shows information for Lubmin (DE) with a pencil icon in the title bar. It lists three bus types: 380 kV (3000), 220 kV (2999), and 8070. Each bus type shows consumption, population, and production details.


- 380 kV (3000)**
  - Consumption: 68.49 MW (1205)
  - Population: 94330
- 220 kV (2999)**
  - Consumption: 34.25 MW (1204)
  - Population: 47165
  - Gas - Gas (305): Production: 0 / 14.7 MW
  - Gas - Gas (306): Production: 0 / 37.7 MW
- 8070**
  - 3000 (380kV) → 2999 (220kV)

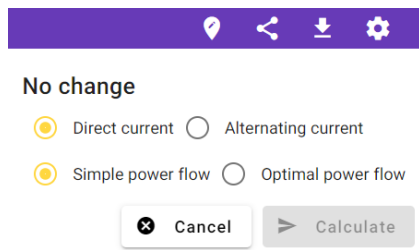
Figure 79 : Popup d'information avec deux bus, dont un avec deux gens, et un transformateur  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

The popup shows the same information as Figure 79, but in edit mode. The numerical values for consumption and production are highlighted with input fields, and the transformator icon (8070) has a checkmark next to it.

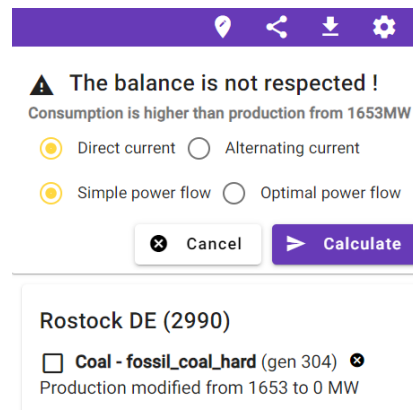
- 380 kV (3000)**
  - Consumption:  MW (1205)
  - Population: 94330
- 220 kV (2999)**
  - Consumption:  MW (1204)
  - Population: 47165
  - Gas - Gas (305): Production:  / 14.7 MW
  - Gas - Gas (306): Production:  / 37.7 MW
- 8070**
  - 3000 (380kV) → 2999 (220kV)

Figure 80 : Popup d'information en mode édition  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin



Le panneau des modifications contient les informations sur l'équilibre du *grid* et les options d'appel à l'API. Il peut être caché avec le bouton . En mode édition, il n'est plus possible de modifier les valeurs de consommation globale. Le bouton « Cancel » permet de faire réafficher ces menus. Le bouton « Calculate » fait une demande de résolution PF ou OPF en DC ou AC à l'API.



**Figure 81 : Panneau latéral de modification sans modification validée**  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin



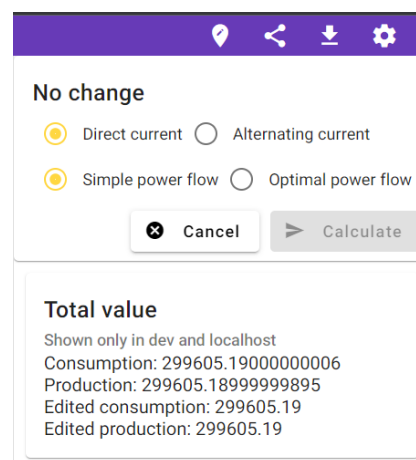
**Figure 82 : Panneau latéral de modification avec une modification**  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

Les deux derniers boutons de la barre de titre sont le partage et le téléchargement  . Le partage permet de créer un lien qui enregistre les données du *grid*, les options d'affichage et le positionnement sur la carte. Le téléchargement permet de sauvegarder une image, au format JPG, PNG ou SVG de la carte affichée, sans la partie hors cadre.

Sur la version de l'application liée à la branche de développement, <https://pantagruel-frontend-dev.netlify.app/>, quelques informations de plus sont affichées afin de permettre aux chercheurs de vérifier les données. Les popups sur la carte possèdent des onglets supplémentaires avec les données en brut et le panneau des modifications affiche les valeurs totales de la production et la consommation.



**Figure 83 : Popup avec les données en brut**  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin



**Figure 84 : Panneau des modifications avec totaux non arrondis**  
Capturé en juillet 2023, G. Gustin

## 5.6. SUITE DU PROJET

L'équipe du GEEE est satisfaite de la version de l'application délivrée et souhaite continuer le projet. Afin de faciliter la reprise du projet par quelqu'un d'autre ou après une période de pause, la structure de l'application et du code se trouvent en Annexe V : Architecture de l'application et en Annexe VI : Structure du code. Cependant, avant la mise en place de nouvelles fonctionnalités, il convient de critiquer ce qui est déjà en place.

Premièrement, il faut éclaircir les droits d'utilisation de Gurobi. Avec la mise en place du Docker, l'API est toujours dans le réseau HES et a donc accès à une licence. Cependant, l'utilisateur final peut être à l'extérieur du réseau. Cela outrepassé le règlement d'utilisation académique de Gurobi. L'API doit donc être modifiée afin de prendre en paramètres si elle peut utiliser ou non la licence Gurobi.

Deuxièmement, le code mériterait un refactor par la future équipe de développement pour prendre en main le projet mais surtout pour permettre un nettoyage et une mise en avant des possibles failles de sécurité et de performance. Les temps de chargement actuels sont à la limite de ceux acceptés par le grand public. Le clic répétitif doit être bloqué où il ne l'est pas déjà, afin d'éviter une surcharge de l'API, qui ne gère qu'une requête à la fois.

Et dernièrement, la mise en place de tests est absolument nécessaire, et à tout niveau :

- unit tests du code Angular ;
- tests d'intégration de l'API ;
- GUI tests sur différents navigateurs ;
- usability tests pour le grand public.

Les utilisateurs visés initialement étaient les membres du GEEE et certains collègues. C'est pourquoi l'expérience utilisateur, abrégé UX, est grandement à améliorer si l'application doit être accessible à des non-initiés. De plus, le design de l'interface utilisateur, abrégé UI, et le code CSS lié mériteraient d'être revus par un spécialiste.

Certains petits bugs ont été constatés mais n'ont pas réussi à être reproduits pour la correction :

- Bande grise à droite apparaissant parfois après la fermeture du panneau d'options, dont la largeur est plus fine que celui-ci ;
- Les transformateurs se placent parfois par-dessus les *bus* et bloquent l'apparition du popup lors du clic.

En plus des choses à améliorer dans le code, le DevOps doit être adapté. Le repository Gitlab de la HES n'est pas lié au site du GEEE et est certainement voué à être supprimé pour faire de la place aux futurs étudiants. Le code ainsi que les user stories doivent être exportées vers un repository GitHub, plateforme utilisée par le groupe du professeur Jacquod. Cela permettrait, après quelques configurations, de mettre à jour la page du site du GEEE à chaque nouvelle version de l'application.



## CONCLUSION

Ce travail répond au besoin du groupe de recherche du professeur Jacquod, qui est d'avoir une application web de simulation du réseau électrique européen. Pour définir les besoins précis du GEEE, le contexte énergétique a été étudié et les données complexes de leur modèle PanTaGruEl ont été prises en mains. Afin de formaliser les besoins sous formes de user stories dans un product backlog, le Professeur Philippe Jacquod et le PO, Julian Fritzsich, ont été initiés à Scrum. Quatre sprints ont permis à réalisation d'une application, écrite en Angular TS, dépassant les espérances initiales.

Cette application offre six fonctionnalités principales :

- affichage du réseau électrique européen ;
- modification des valeurs de consommation selon la date et l'heure ;
- modification des valeurs de consommation avec les données par pays ;
- création de scénarios par la modification des données directement sur la carte ;
- partage de scénarios au moyen d'un permalien ;
- téléchargement de l'affichage actuel de la carte.

L'application a pu être testée et utilisée durant la période de développement par la mise en place d'un branching strategy et l'application d'une philosophie DevOps. La collaboration générale s'est très bien passée.

Il est nécessaire de prévoir encore cinq sprints pour terminer la liste des fonctionnalités prévues dans le product backlog au moment du rendu de ce travail de Bachelor. L'application étant prometteuse, le GEEE souhaite la rendre accessible au public. Pour cela, une amélioration de l'UX et UI est nécessaire, car tout n'est pas intuitif et les temps de réponse sont un peu trop lents. Ce dernier point pourrait possiblement être amélioré avec le refactor par des spécialistes Angular. Si le projet venait à continuer, la mise en place de tests est à prévoir.

Le DevOps devra également s'adapter car le repository sur le GitLab de la HES est certainement voué à être supprimé. Le futur travail de développement doit se faire sur le GitHub du GEEE, qui est lié directement à leur site web. De plus, il est important de rappeler que les problématiques se cachant derrière les données calculées par PanTaGruEl ne sont pas détaillées. Si des changements venaient à être faits dans celles-ci, par exemple en cas d'intégration de la puissance réactive, l'application en serait impactée et nécessiterait certainement une adaptation.

D'un point de vue personnel, la réalisation de ce travail a permis l'acquisition de nombreuses connaissances. Premièrement, la compréhension de l'électricité est passée de quasiment nulle à suffisamment développée pour appréhender les défis du futur réseau électrique européen. Deuxièmement, la base de connaissance des langages web s'est vue grandie par l'apprentissage du framework Angular et du langage TypeScript. Enfin, ce projet a permis une mise en pratique de la méthodologie Scrum ainsi que la mise en place d'un CI/CD grâce à GitLab premium et Netlify.

## RÉFÉRENCES

- Agence de développement Next.js.* (s. d.). Debord Agence web. Consulté 7 août 2023, à l'adresse <https://www.agencedebord.com/agence-developpement-next-js>
- Angular.* (2023, juillet 23). Wikipédia. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Angular&oldid=206269341>
- ASP.NET.* (2021, octobre 27). Wikipédia. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=ASP.NET&oldid=187486196>
- CAPARÉSEAU.* (s. d.). Consulté 29 juillet 2023, à l'adresse <https://www.capareseau.fr/>
- Coulomb.* (2023, juin 23). Wikipédia. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Coulomb&oldid=205414104>
- Courant alternatif.* (2023, avril 9). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Courant\\_alternatif&oldid=203109717](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Courant_alternatif&oldid=203109717)
- Courant continu haute tension.* (2023, juillet 7). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Courant\\_continu\\_haute\\_tension&oldid=205790897](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Courant_continu_haute_tension&oldid=205790897)
- De Mey, L. (s. d.). *Courant continu/Courant alternatif.* Cours Tech Info. Consulté 22 juillet 2023, à l'adresse <https://courstechinfo.be/Hard/ACDC.html>
- Débutez avec Angular.* (s. d.). OpenClassrooms. Consulté 4 juin 2023, à l'adresse <https://openclassrooms.com/fr/courses/7471261-debuter-avec-angular>
- Delbecq, D. (2018, mars 9). *Des kilowattheures manquent, et tout est dérégulé—Le Temps.* <https://www.letemps.ch/sciences/kilowattheures-manquent-deregle>
- Department of Mathematics.* (s. d.). The University of Arizona. Consulté 30 avril 2023, à l'adresse <https://www.math.arizona.edu/people/laurentpagnier>
- DETEC - Stratégie énergétique 2050.* (s. d.). Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication. Consulté 9 juillet 2023, à l'adresse <https://www.uvek.admin.ch/uvek/fr/home/energie/energiestrategie-2050.html>
- Difference between Node.js and React.js. (2020, août 6). *GeeksforGeeks.* <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-node-js-and-react-js/>
- Django (framework).* (2023, juillet 6). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Django\\_\(framework\)&oldid=205769349](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Django_(framework)&oldid=205769349)

- Electrical Energy Efficiency Group.* (s. d.). Consulté 22 mars 2023, à l'adresse <https://etranselec.ch/Electricity>
- Electricity Maps.* (2023). [Python]. Electricity Maps.  
<https://github.com/electricitymaps/electricitymaps-contrib>
- Engelsma, C. (s. d.). *How To Build Maps in Angular with Leaflet, Part 1 : Generating Maps | DigitalOcean.* Consulté 30 avril 2023, à l'adresse  
<https://www.digitalocean.com/community/tutorials/angular-angular-and-leaflet>
- Express vs React : Which is best? An Outstanding Backend or JS Frontend.* (2022, décembre 26). UPSQODE. <https://www.upsqode.com/blog/express-vs-react/>
- Express.js.* (2022, juin 9). Wikipédia.  
<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Express.js&oldid=194394758>
- Fiche métier : Product Owner.* (s. d.). Cegos. Consulté 30 juillet 2023, à l'adresse  
<https://www.cegos.fr/ressources/mag/fiches-metiers/les-metiers-de-la-gestion-de-projets/fiche-metier-product-owner>
- Finon, D. (2022, mai 14). Renouvelables intermittentes et menace de black-out, comment y faire face? *Encyclopédie de l'énergie.* <https://www.encyclopedie-energie.org/renouvelables-intermittentes-menace-de-black-out-comment-y-faire-face/>
- Flutter (logiciel).* (2023, juin 7). Wikipédia.  
[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Flutter\\_\(logiciel\)&oldid=204990545](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Flutter_(logiciel)&oldid=204990545)
- Fréquence.* (2023, juin 29). Wikipédia.  
<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Fr%C3%A9quence&oldid=205583688>
- Fritzs, J. (2023). *Julianfritzs/pantagruel-frontend.*  
<https://github.com/julianfritzs/pantagruel-frontend>
- Hotmaps.* (s. d.). HES-SO Valais-Wallis. Consulté 22 avril 2023, à l'adresse  
<https://www.hevs.ch/en/projects/hotmaps-19918>
- Hotmaps Toolbox.* (s. d.). Hotmaps Project. Consulté 6 mai 2023, à l'adresse <https://www.hotmaps-project.eu/hotmaps-project/>
- Jacquod, P. (2023). *Données du travail de bachelor—Développement d'une interface user friendly pour le pilotage de simulation de réseau électrique intelligent.*
- jQuery vs. React.* (s. d.). Educative. Consulté 14 juin 2023, à l'adresse  
<https://www.educative.io/answers/jquery-vs-react>

- La fréquence électrique, un indicateur d'équilibre du réseau.* (s. d.). Rte. Consulté 22 juillet 2023, à l'adresse <https://www.rte-france.com/riverains/la-frequence-electrique-un-indicateur-dequilibre-du-reseau>
- Lalanne, A. (2022, novembre 4). *Puissance réactive : À quoi sert-elle ? Comment la calculer ?* Choisir.com. <https://www.choisir.com/energie/articles/104515/qu-est-ce-que-la-puissance-reactive>
- Le Monde (Réalisateur). (2023, janvier 15). *Les prix de l'électricité s'envolent, voici pourquoi.* <https://www.youtube.com/watch?v=Nu9wqcNARYc>
- Les lois de Kirchhoff.* (s. d.). Alloprof. Consulté 22 juillet 2023, à l'adresse <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/sciences/les-lois-de-kirchhoff-s1167>
- Licence libre.* (2023, avril 16). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Licence\\_libre&oldid=203384024](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Licence_libre&oldid=203384024)
- Lois de Kirchhoff.* (2023, juin 10). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lois\\_de\\_Kirchhoff&oldid=205052906](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Lois_de_Kirchhoff&oldid=205052906)
- Lois des mailles.* (s. d.). Elektronique cours et montages d'électronique. Consulté 31 juillet 2023, à l'adresse <http://www.elektronique.fr/cours/loi-des-mailles.php>
- Mediacom / Ipese. (2023). *Une Suisse autonome et neutre en CO2 serait possible en 2050.* <https://actu.epfl.ch/news/une-suisse-autonome-et-neutre-en-co2-serait-possib/>
- Mentalité Ingénieur (Réalisateur). (2021, janvier 2). *Le Courant Électrique Expliqué courant alternatif.* <https://www.youtube.com/watch?v=LAReDwzwXtQ>
- .NET and .NET Core official support policy.* (2023, juillet 11). Microsoft. <https://dotnet.microsoft.com/en-us/platform/support/policy/dotnet-core>
- Netlify.* (s. d.). Netlify. Consulté 4 juin 2023, à l'adresse <https://www.netlify.com/>
- Newest « angular » Questions.* (2023, juin 14). Stack Overflow. <https://stackoverflow.com/questions/tagged/angular>
- Newest « asp.net » Questions.* (2023, juin 14). Stack Overflow. <https://stackoverflow.com/questions/tagged/asp.net>
- Newest « django » Questions.* (2023, juin 14). Stack Overflow. <https://stackoverflow.com/questions/tagged/django>

Newest « *express* » Questions. (2023, juin 14). Stack Overflow.  
<https://stackoverflow.com/questions/tagged/express>

Newest « *flutter* » Questions. (2023, juin 14). Stack Overflow.  
<https://stackoverflow.com/questions/tagged/flutter>

Newest « *next.js* » Questions. (2023, juin 14). Stack Overflow.  
<https://stackoverflow.com/questions/tagged/next.js>

Newest « *reactjs* » Questions. (2023, juin 14). Stack Overflow.  
<https://stackoverflow.com/questions/tagged/reactjs>

Newest « *svelte* » Questions. (2023, juin 14). Stack Overflow.  
<https://stackoverflow.com/questions/tagged/svelte>

Newest « *vue.js* » Questions. (2023, juin 14). Stack Overflow.  
<https://stackoverflow.com/questions/tagged/vue.js>

Next.js. (2023, avril 18). Wikipédia.  
<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Next.js&oldid=203453842>

Nguyen, D.-Q. (2023, juin 2). *Consommation et production d'électricité en Suisse en temps réel*. Le Temps. <https://labs.letemps.ch/interactive/2022/elec/>

OFEN - *Qu'est-ce que la Stratégie énergétique 2050?* (2020, mars 16). Office fédéral de l'énergie.  
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/fr/home/politik/energiestrategie-2050/was-ist-die-energiestrategie-2050.html>

OFEV - *Loi sur le climat et l'innovation : Votation populaire le 18 juin 2023*. (2023, juin 18). Office fédéral de l'environnement. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/fr/home/themen/thema-klima/klima--dossiers/klimaschutzgesetz.html>

Pagnier, L. (2023a). *PanTaGruEl.jl* [Julia]. <https://github.com/laurentpagnier/PanTaGruEl.jl>

Pagnier, L. (2023b). *PSOP.jl* [Julia]. <https://github.com/laurentpagnier/PSOP.jl>

Pagnier, L., & Jacquod, P. (2019). *PanTaGruEl—A pan-European transmission grid and electricity generation model* (0.1) [jeu de données]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2642175>

Perte en ligne (électricité). (2023, juin 13). Wikipédia.  
[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Perte\\_en\\_ligne\\_\(%C3%A9lectricit%C3%A9\)&oldid=205143877](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Perte_en_ligne_(%C3%A9lectricit%C3%A9)&oldid=205143877)

- Power-flow study*. (2023, juin 22). Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Power-flow\\_study&oldid=1161387199](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Power-flow_study&oldid=1161387199)
- Power-to-gas*. (2023, mai 27). Wikipedia. <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Power-to-gas&oldid=1157206077>
- Puissance électrique*. (2022, septembre 28). Wikipédia. [https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Puissance\\_%C3%A9lectrique&oldid=197315781](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Puissance_%C3%A9lectrique&oldid=197315781)
- Qu'est-ce que Next.js? Un regard sur le populaire framework JavaScript*. (2022, décembre 19). Kinsta. <https://kinsta.com/fr/base-de-connaissances/next-js/>
- Qu'est-ce que Scrum et comment se lancer*. (s. d.). Consulté 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.atlassian.com/fr/agile/scrum>
- Qu'est-ce qu'un sprint planning? Définition et déroulement*. (2022, novembre 17). <https://www.reussirsesprojets.com/sprint-planning/>
- Qu'est-ce qu'une rétrospective de sprint? Définition + Avantages*. (2022, décembre 1). <https://www.reussirsesprojets.com/sprint-retrospective/>
- Qu'est-ce qu'une sprint review? Définition, Objectif, Déroulement*. (2022, novembre 20). Réussir ses projets. <https://www.reussirsesprojets.com/sprint-review/>
- Radigan, D. (s. d.-a). *Backlog produit : Qu'est-ce que c'est et comment en créer un*. Atlassian. Consulté 5 août 2023, à l'adresse <https://www.atlassian.com/fr/agile/scrum/backlogs>
- Radigan, D. (s. d.-b). *Que sont les story points? Comment les estimer?* Atlassian. Consulté 5 août 2023, à l'adresse <https://www.atlassian.com/fr/agile/project-management/estimation>
- React*. (2023, février 5). Wikipédia. <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=React&oldid=201112440>
- Reed Copsey. (2009, mars 19). *Answer to « Do I have to pay a fee to develop or deploy a .NET application? »* Stack Overflow. <https://stackoverflow.com/a/663935>
- Rehkopf, M. (s. d.-a). *Epics Agile : Définition, Exemples et Modèles* (F. Aimetti, Trad.). Wiki Agile. Consulté 27 juillet 2023, à l'adresse [https://wikiagile.fr/index.php?title=Epics\\_Agile:\\_D%C3%A9finition,\\_Exemples\\_et\\_Mod%C3%A8les](https://wikiagile.fr/index.php?title=Epics_Agile:_D%C3%A9finition,_Exemples_et_Mod%C3%A8les)
- Rehkopf, M. (s. d.-b). *User Stories | Exemples et modèle*. Atlassian. Consulté 27 juillet 2023, à l'adresse <https://www.atlassian.com/fr/agile/project-management/user-stories>

- Résistance (électricité).* (2023, mai 4). Wikipédia.  
[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A9sistance\\_\(%C3%A9lectricit%C3%A9\)&oldid=203945897](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=R%C3%A9sistance_(%C3%A9lectricit%C3%A9)&oldid=203945897)
- Singh, N. K. (2022, mars 6). Is CI/CD and DevOps the Same? *Agilemania*.  
<https://medium.com/agilemania/is-ci-cd-and-devops-the-same-7b52be58c9ac>
- Source d'énergie intermittente.* (2023, juillet 3). Wikipédia.  
[https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Source\\_d%27%C3%A9nergie\\_intermittente&oldid=205672198](https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Source_d%27%C3%A9nergie_intermittente&oldid=205672198)
- Svelte.* (2023, mai 4). Wikipédia.  
<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Svelte&oldid=203961720>
- Svelte.js : Une solution pour des applications web rapides.* (s. d.). ASI. Consulté 30 avril 2023, à l'adresse <https://www.asi.fr/blog/sveltejs-solution-pour-applications-web-rapides>
- Swissgrid—Exploitation du réseau, Réseau électrique, Niveaux de réseau.* (s. d.). swissgrid. Consulté 22 avril 2023, à l'adresse <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/power-grid/grid-levels.html>
- Swissgrid—Exploitation du réseau, Gestion, Fréquence.* (s. d.). Consulté 22 juillet 2023, à l'adresse <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/regulation/frequency.html>
- Swissgrid—Exploitation du réseau, Gestion, Planification de l'exploitation du réseau.* (s. d.). Consulté 23 juillet 2023, à l'adresse <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/regulation/planning.html>
- Swissgrid—Exploitation du réseau, Gestion, Stabilité du réseau.* (s. d.). Consulté 23 juillet 2023, à l'adresse <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/regulation/grid-stability.html>
- Swissgrid—Exploitation du réseau, Réseau électrique, Réseau de transport suisse.* (s. d.). Consulté 22 juillet 2023, à l'adresse <https://www.swissgrid.ch/fr/home/operation/power-grid/swiss-power-grid.html>
- Versavaud, C. (2022, mai 31). *Energie : Marché spot ou marché à terme, quelles différences?* Enoptea. <https://www.enoptea.fr/articles/energie-marche-spot-ou-marche-a-terme-queelles-differences/>



*Voici à quoi devrait ressembler une Suisse décarbonée en 2050.* (2023, juin 18). SWI swissinfo.ch.

<https://www.swissinfo.ch/fre/economie/voici-%C3%A0-quoi-devrait-ressembler-une-suisse-d%C3%A9carbon%C3%A9e-en-2050/48573256>

*Volt, watt, ampère : Les unités en électricité.* (2022, février 10). EDF. [https://www.edf.fr/groupe-](https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/l-electricite-au-quotidien/volt-watt-ampere-les-unites-en-electricite)

[edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/l-electricite-au-quotidien/volt-watt-ampere-les-unites-en-electricite](https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/l-electricite-au-quotidien/volt-watt-ampere-les-unites-en-electricite)

*Vue.js.* (2023, mai 18). Wikipédia.

<https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Vue.js&oldid=204358114>

*Vue.js: Quels sont les avantages et les inconvénients?* (2021, août 20). Mobiskill.

<https://mobiskill.fr/blog/conseils-emploi-tech/vue-js-quels-sont-les-avantages-et-les-inconvenients/>

Wickramasinghe, Y. S. (2023, février 22). *Top 5 Map Libraries for React in 2021.* Medium.

<https://blog.bitsrc.io/top-5-map-libraries-for-react-in-2021-20a37ff5234>

## ANNEXE I : FICHIER CASE14.M

Document fourni par J. Fritzsche

% Case to test no explicit branch limits

% from matpower - <http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>

function mpc = case14

%CASE14 Power flow data for IEEE 14 bus test case.

% Please see CASEFORMAT for details on the case file format.

% This data was converted from IEEE Common Data Format

% (ieee14cdf.txt) on 15-Oct-2014 by cdf2matp, rev. 2393

% See end of file for warnings generated during conversion.

%

% Converted from IEEE CDF file from:

% <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>

%

% 08/19/93 UW ARCHIVE 100.0 1962 W IEEE 14 Bus Test Case

% MATPOWER

%% MATPOWER Case Format : Version 2

mpc.version = '2';

%%----- Power Flow Data -----%%

%% system MVA base

mpc.baseMVA = 100;

%% bus data

% bus\_i type Pd Qd Gs Bs area Vm Va baseKV zone Vmax Vmin

mpc.bus = [

```

1 3 0 0 0 0 1 1.06 0 0 1 1.06 0.94;
2 2 21.7 12.7 0 0 1 1.045 -4.98 0 1 1.06 0.94;
3 2 94.2 19 0 0 1 1.01 -12.72 0 1 1.06 0.94;
4 1 47.8 -3.9 0 0 1 1.019 -10.33 0 1 1.06 0.94;
5 1 7.6 1.6 0 0 1 1.02 -8.78 0 1 1.06 0.94;
6 2 11.2 7.5 0 0 1 1.07 -14.22 0 1 1.06 0.94;
7 1 0 0 0 0 1 1.062 -13.37 0 1 1.06 0.94;
8 1 0 0 0 0 1 1.09 -13.36 0 1 1.06 0.94;
9 1 29.5 16.6 0 19 1 1.056 -14.94 0 1 1.06 0.94;
10 1 9 5.8 0 0 1 1.051 -15.1 0 1 1.06 0.94;
11 1 3.5 1.8 0 0 1 1.057 -14.79 0 1 1.06 0.94;
12 1 6.1 1.6 0 0 1 1.055 -15.07 0 1 1.06 0.94;
13 1 13.5 5.8 0 0 1 1.05 -15.16 0 1 1.06 0.94;
14 1 14.9 5 0 0 1 1.036 -16.04 0 1 1.06 0.94;

```

];

```

%% generator data
% bus Pg Qg Qmax Qmin Vg mBase status Pmax Pmin Pc1 Pc2
Qc1min Qc1max Qc2min Qc2max ramp_agc ramp_10 ramp_30 ramp_q apf
mpc.gen = [
    1 232.4 -16.9 10 0 1.06 100 1 332.4 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0 0 0 0;
    2 40 42.4 50 -40 1.045 100 1 140.0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0 0 0;
    3 0 23.4 40 0 1.01 100 1 100.0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0 0 0;
    6 0 12.2 24 -6 1.07 100 1 100.0 0 0 0 0 0 0 0 0 1.0 0;
    8 0 17.4 24 -6 1.09 100 1 100.0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0;
];

%% branch data
% fbus tbus r x b rateA rateB rateC ratio angle status angmin angmax
mpc.branch = [
    1 2 0.01938 0.05917 0.0528 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    1 5 0.05403 0.22304 0.0492 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 3 0.04699 0.19797 0.0438 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 4 0.05811 0.17632 0.034 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    2 5 0.05695 0.17388 0.0346 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    3 4 0.06701 0.17103 0.0128 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    4 5 0.01335 0.04211 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    4 7 0 0.20912 0 0 0 0 0.978 0 1 -360 360;
    4 9 0 0.55618 0 0 0 0 0.969 0 1 -360 360;
    5 6 0 0.25202 0 0 0 0 0.932 0 1 -360 360;
    6 11 0.09498 0.1989 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    6 12 0.12291 0.25581 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    6 13 0.06615 0.13027 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    7 8 0 0.17615 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    7 9 0 0.11001 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    9 10 0.03181 0.0845 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    9 14 0.12711 0.27038 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    10 11 0.08205 0.19207 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    12 13 0.22092 0.19988 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
    13 14 0.17093 0.34802 0 0 0 0 0 0 1 -360 360;
];

%%----- OPF Data -----%%
%% generator cost data
% 1 startup shutdown n x1 y1 ... xn yn
% 2 startup shutdown n c(n-1) ... c0
mpc.gencost = [
    2 0 0 5 0 0 0.0430292599 20 0;
    2 0 0 5 0 0 0.25 20 0;
    2 0 0 5 0 0 0.01 40 0;
    2 0 0 5 0 0 0.01 40 0;
    2 0 0 5 0 0 0.01 40 0;
];

```

```
%% bus names
mpc.bus_name = {
    'Bus 1   HV';
    'Bus 2   HV';
    'Bus 3   HV';
    'Bus 4   HV';
    'Bus 5   HV';
    'Bus 6   LV';
    'Bus 7   ZV';
    'Bus 8   TV';
    'Bus 9   LV';
    'Bus 10  LV';
    'Bus 11  LV';
    'Bus 12  LV';
    'Bus 13  LV';
    'Bus 14  LV';
};

% Warnings from cdf2matp conversion:
%
% ***** check the title format in the first line of the cdf file.
% ***** Qmax = Qmin at generator at bus   1 (Qmax set to Qmin + 10)
% ***** MVA limit of branch 1 - 2 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 1 - 5 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 2 - 3 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 2 - 4 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 2 - 5 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 3 - 4 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 4 - 5 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 4 - 7 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 4 - 9 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 5 - 6 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 6 - 11 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 6 - 12 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 6 - 13 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 7 - 8 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 7 - 9 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 9 - 10 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 9 - 14 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 10 - 11 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 12 - 13 not given, set to 0
% ***** MVA limit of branch 13 - 14 not given, set to 0
```

## ANNEXE II : FICHIER IEEE14.JSON

Document fourni par J. Fritzsch

```
{
  "bus": {
    "1": {
      "coord": [
        0,
        50
      ],
      "zone": 1,
      "bus_i": 1,
      "bus_type": 3,
      "name": "Bus 1  HV",
      "vmax": 1.06,
      "source_id": [
        "bus",
        1
      ],
      "area": 1,
      "vmin": 0.94,
      "index": 1,
      "va": 0,
      "vm": 1.06,
      "base_kv": 0
    },
    "source_type": "matpower",
    "name": "case14",
    "dcline": {},
    "source_version": "2",
    "gen": {
      "1": {
        "ncost": 3,
        "qc1max": 0,
        "pg": 2.324,
        "model": 2,
        "shutdown": 0,
        "startup": 0,
        "qc2max": 0,
        "ramp_agc": 0.01,
        "qg": -0.16899999999999998,
        "gen_bus": 1,
        "pmax": 3.324,
        "ramp_10": 0,
        "vg": 1.06,
        "mbase": 100,
        "source_id": [
          "gen",
          1
        ],
        "pc2": 0,
        "index": 1,
        "cost": [
          430.292599,
          2000,
          0
        ],
        "qmax": 0.1,
        "gen_status": 1,
        "qmin": 0,
        "qc1min": 0,
        "qc2min": 0,
        "pc1": 0,
        "ramp_q": 0,
        "ramp_30": 0,
        "pmin": 0,
        "apf": 0
      },
      "branch": {
        "1": {
          "br_r": 0.01938,
          "shift": 0,
          "br_x": 0.05917,
          "g_to": 0,
          "g_fr": 0,
          "source_id": [
            "branch",
            1
          ],
          "b_fr": 0.0264,
          "f_bus": 1,
          "br_status": 1,
          "t_bus": 2,
          "b_to": 0.0264,
          "index": 1,
          "angmin": -1.0472,
          "angmax": 1.0472,
          "transformer": false,
          "tap": 1
        },
        "storage": {},
        "switch": {},
        "baseMVA": 100,
        "per_unit": true,
        "shunt": {
          "1": {
            "source_id": [
              "bus",
              9
            ],
            "shunt_bus": 9,
            "status": 1,
            "gs": 0,
            "bs": 0.19,
            "index": 1
          }
        },
        "load": {
          "1": {
            "source_id": [
              "bus",
              2
            ],
            "load_bus": 2,
            "status": 1,
            "qd": 0.127,
            "pd": 0.217,
            "index": 1
          }
        }
      }
    }
  }
}
```

## ANNEXE III : NOTE POWER FLOW PAR JULIAN FRITZSCH

# Notes Power Flow

Julian Fritzscht\*

Department of Quantum Matter Physics, University of Geneva, CH-1211 Geneva, Switzerland

School of Engineering, University of Applied Sciences of Western Switzerland, CH-1950 Sion,  
Switzerland

July 10, 2023

## 1. Introduction

Power flow analysis is concerned with the question how power flows through an electric network. Given the generation and consumption of power, we would like to know how much power flows across the connecting power lines and the voltages of the load buses. This is because a power line cannot carry unlimited power. A power line has a non-zero resistance it heats up when power flows through it. The heating causes the line to elongate and sag. If it sags too much it might touch the ground and short-circuit. This will cause blackouts and potential fires. Detecting potential overloads and mitigating them by changing the distribution of power is one of the central duties of transmission grid operators. The resistive losses  $P_{\text{loss}}$  through a line are given by its resistance  $R$  and the current  $I$  flowing through it

$$P_{\text{loss}} = RI^2. \quad (1)$$

The power  $P$  that is transported through a line is given by its voltage  $V$  and the current  $I$

$$P = VI. \quad (2)$$

From (1) and (2) we see that the resistive losses can be reduced while the transported power stays the same if the voltage is increased. This is the reason why high voltage is used to transport power (in Switzerland 380kV and 220kV are used for the transmission grid).

## 2. Power Flow Equations

Power grids use alternating current (AC) to distribute power. The reason for this is that AC voltages can easily be changed using transformers. Typically, the voltage is increased after generation for transmission and then reduced for use at home or in industry.

---

\*julian.fritzscht@etu.unige.ch

AC voltage means that the voltage polarity and the current direction are changing periodically. In power grids the time dependence is sinusoidal. This means that the voltage  $V(t)$  and current  $I(t)$  can be described as follows

$$V(t) = \sqrt{2}V \cos(\omega t), \quad I(t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t), \quad (3)$$

where  $\sqrt{2}V$  and  $\sqrt{2}I$  are the peak values of the voltage and current (the maximum value they reach) and  $\omega$  is the frequency. The peaks of voltage and current don't necessarily need to occur at the same time but they can be shifted. In fact there are components such as capacitors and coils that lead to shifts like that. Mathematically, this can be expressed by introducing an angle  $\delta$  into (3)

$$V(t) = \sqrt{2}V \cos(\omega t), \quad I(t) = \sqrt{2}I \cos(\omega t - \delta), \quad (4)$$

This shift between voltage and frequency is of importance for the power transported. According to (2) the power is given by the product of voltage and current which means

$$p(t) = V(t)I(t) = 2VI \cos(\omega t) \cos(\omega t - \delta) = VI(\cos(\delta) + \cos(\delta - 2\omega t)). \quad (5)$$

Figure 1 shows the voltage, current, and the resulting power as a function of time for three different values of  $\delta$ . One can see that in all cases the power is oscillating with the same frequency. However, the value it oscillates around changes with  $\delta$  (it's  $VI\cos(\delta)$ , the first term in the last expression in (5)). For  $\delta = 0$  the power is always positive. This means that it always flows in the same direction and there is a transport of energy that can be used to run electrical appliances. On the other hand, for  $\delta = \pi/2$ , the power oscillates around 0 with equally large peaks in both directions. This means that energy first flows in one direction and then an equal amount flows in the other direction. Over time there is no transfer of energy. In fact one can always decompose the power into two oscillations: one that is always positive with a minimum of zero and one around zero

$$p(t) = \underbrace{VI \cos(\delta)}_P (1 - \cos(2\omega t)) - \underbrace{VI \sin(\delta)}_Q \sin(2\omega t). \quad (6)$$

The amplitudes of the two terms are the active power  $P$  which is the average usable power and the reactive power  $Q$  which is the average power that is stored in electric and magnetic fields.

To facilitate calculations one expresses the different quantities using complex numbers. For this recall Euler's identity

$$e^{jx} = \cos x + j \sin x \quad (7)$$

with  $j$  being the imaginary number. One introduces the complex current

$$i(t) = \sqrt{2}I e^{j(\omega t - \delta)}, \quad (8)$$

where the real part matches the expression in (4). Analogously, one finds a similar expression for the complex voltage  $v(t)$ . With this one can define

$$S = v(t)i^*(t) = VI e^{j\delta} = VI(\cos \delta + j \sin \delta) = P + jQ, \quad (9)$$



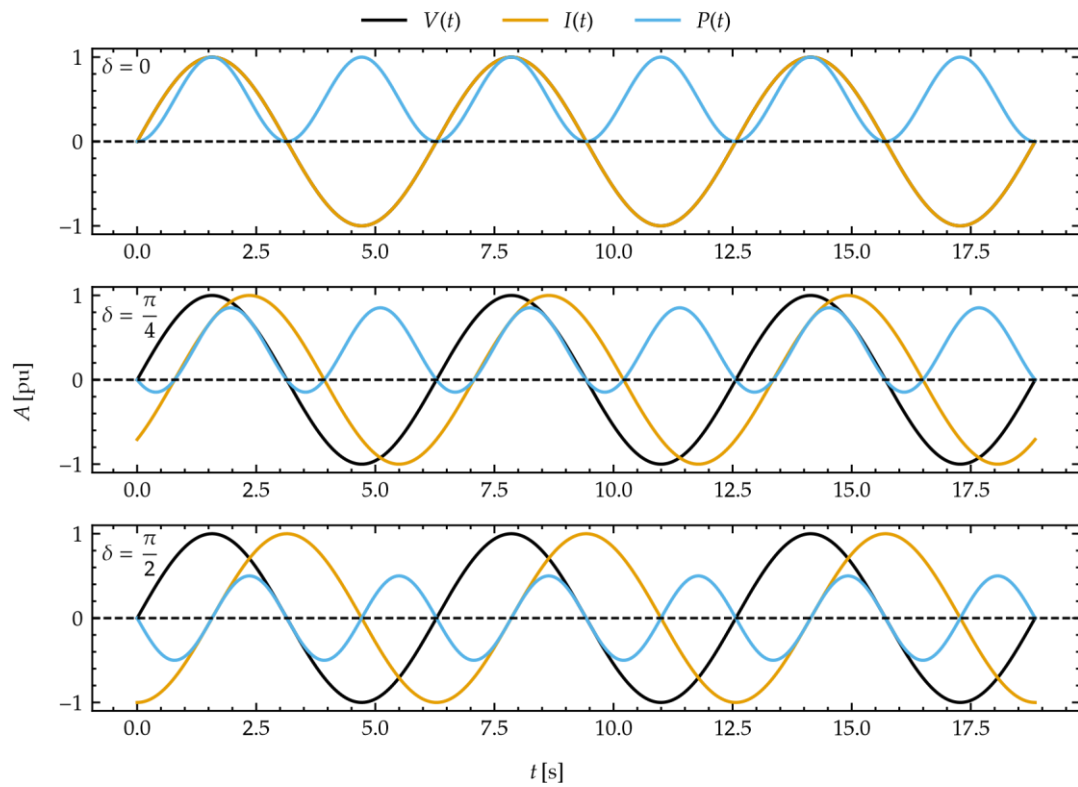


Figure 1: Voltage  $V(t)$ , current  $I(t)$ , and power  $P(t)$  for three different values of phase difference  $\delta$ .

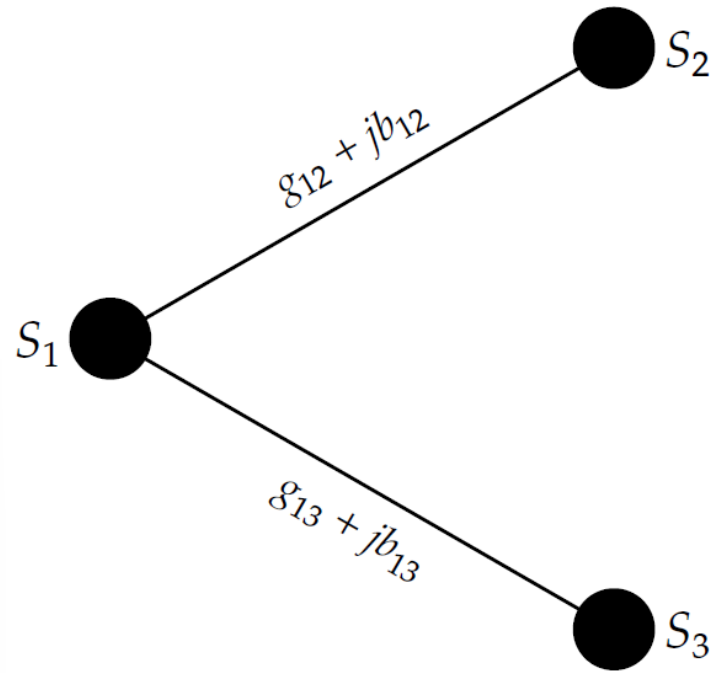


Figure 2: Small three node network.

where  $*$  denotes the complex conjugate. The quantity  $S$  is called the apparent power. For a resistive load the voltage  $V$  and the current  $I$  are related by the resistance  $R$  as  $V = RI$ . This can be expanded to complex voltages and currents using a complex value  $Z$  called the impedance

$$Z = R + jX, \quad (10)$$

where  $R$  is again the resistance and  $X$  the reactance. The reactance is what causes the shift between the current and the voltage and therefore the existence of reactive power. The inverse of the impedance is called the admittance and given by

$$Y = G + jB, \quad (11)$$

where  $G$  is the conductance and  $B$  is the susceptance. This means the current on a line connecting buses  $\alpha$  and  $\beta$  is given by

$$i_{\alpha\beta} = Y_{12}(V_{\alpha} - V_{\beta}) \quad (12)$$

Let's apply this knowledge to a power grid. In its simplest model a power grid is a collection of buses where power is produced or consumed that are connected by power lines. To motivate the power flow equations let's consider Fig. 2. The power at bus 1 is given by  $S_1$ . Without restriction of generality, let's assume that bus 1 is a generator and is injecting power. We know that the voltage at that bus is  $v_1$  and the current that is injected is  $i_1$ . Therefore

$$S_1 = v_1 i_1^*. \quad (13)$$

From Kirchhoff's current law we know that the current that is injected by the generator must be as large as the currents that are flowing through the two lines.

$$i_1 = i_{12} + i_{13}. \quad (14)$$

From (12) we get the expressions for  $i_{12}$  and  $i_{13}$ . It follows

$$\begin{aligned} S_1 &= v_1 [(v_1 - v_2)^* (g_{12} - jb_{12}) + (v_1 - v_3)^* (g_{13} - jb_{13})] \\ &= v_1 v_1^* [g_{12} + g_{13} - j(b_{12} + b_{13})] - v_1 [v_2^* (g_{12} - jb_{12}) + v_3^* (g_{13} - jb_{13})]. \end{aligned} \quad (15)$$

While all voltages have the same frequency they can be shifted with respect to each other. Therefore, we introduce the voltage angle of bus  $i$   $\theta_i$  for all buses (this is exactly the same as the  $\delta$  for the current discussed earlier). Equation (15) then becomes

$$\begin{aligned} S_1 &= P_1 + jQ_1 \\ &= V_1^2 [g_{12} + g_{13} - j(b_{12} + b_{13})] - V_1 V_2 e^{j(\theta_1 - \theta_2)} (g_{12} - jb_{12}) - V_1 V_3 e^{j(\theta_1 - \theta_3)} (g_{13} - jb_{13}) \end{aligned} \quad (16)$$

Expanding the exponential functions and then separating the real and imaginary parts yields

$$\begin{aligned} P_1 &= V_1^2 (g_{12} + g_{13}) - V_1 V_2 [g_{12} \cos(\theta_1 - \theta_2) + b_{12} \sin(\theta_1 - \theta_2)] \\ &\quad - V_1 V_3 [g_{13} \cos(\theta_1 - \theta_3) + b_{13} \sin(\theta_1 - \theta_3)] \end{aligned}, \quad (17a)$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= -V_1^2 (b_{12} + b_{13}) + V_1 V_2 [-g_{12} \sin(\theta_1 - \theta_2) + b_{12} \cos(\theta_1 - \theta_2)] \\ &\quad + V_1 V_3 [-g_{13} \sin(\theta_1 - \theta_3) + b_{13} \cos(\theta_1 - \theta_3)] \end{aligned}. \quad (17b)$$

These equations tell us how the power injection at bus 1 is related to the voltages at the connected buses and the line parameters. Additionally, we can directly find the power flow across the connecting lines. We can find equations like this for each bus in the network. In there general form they read<sup>3</sup>

$$P_i = \sum_j V_i [V_j g_{ij} - V_j g_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) - V_j b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)], \quad (18a)$$

$$Q_i = \sum_j V_i [-V_j b_{ij} - V_j g_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) + V_j b_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)]. \quad (18b)$$

In this form they are also called AC power flow equations. At each bus we need to fix two variables. Normally, for load buses (i.e., buses that consume power) the active and reactive power are fixed and the voltage magnitude  $V_i$  and angle  $\theta_i$  are variables that have to be determined. For generator buses the active and voltage magnitude are fixed and the reactive power  $Q_i$  and voltage angle  $\theta_i$  to be determined.

For high voltage power grids normally the resistance  $R$  of a line is much smaller than its reactance  $X$  and can be neglected. This corresponds to  $g_{ij} = 0$ . Additionally, often one is only interested in active power flows and assumes that the voltage magnitudes are at there nominal values. This means we only consider (18a) and the only variables we need to solve for are the voltage angles. This approximation is called the DC power flow. The equations are given by

<sup>3</sup> Note that often in the literature  $g_{ij}$  and  $b_{ij}$  correspond to values of the admittance matrix and are the negative of the values here.

$$P_i = - \sum_j V_i V_j b_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j). \quad (19)$$

### 3. Optimal Power Flow

Because electrical power cannot be stored (at least not on large scales), the production must match consumption at each time. One question that arises is what is the optimal production given a specific consumption. Optimal production in this case means the most economic, i.e., the cheapest generation. The problem at hand is therefore the following: given the consumption at all the load buses we want to find the cheapest dispatch of generators that fulfills that demand. There are restrictions however, the solution must fulfill the power flow equations (ensures that production matches demand and that the solution is physical) and the power flows on the lines cannot exceed their thermal limits (safety reasons)<sup>4</sup>. To each generator we assign a cost for its production. In our case it is simply given by function linear in the power productions  $S$

$$c(S) = c_1 S + c_0, \quad (20)$$

where  $c_1$  and  $c_0$  are generator specific coefficients<sup>5</sup>. This means we formulate the following optimization problem

$$\begin{aligned} \min_S \quad & \sum_i c_i(S) \\ \text{s.t.} \quad & (18a), \\ & (18b), \\ & |f_{ij}| \leq f_{\max} \end{aligned} \quad (21)$$

Line by line this just means:

- find a power dispatch that minimizes the total cost of production, such that
- the real power production matches the real power consumption plus the real power losses on the lines
- the reactive power production matches the reactive power consumption plus the reactive power losses on the lines
- the flows on all lines are smaller than their thermal limit

This is called the AC optimal power flow.

Similarly to the power flow problem there exists a DC optimal power flow which neglects line losses and only takes active power into account.

<sup>4</sup> There are more constraints on the voltage angles and magnitudes. But for our use case so far they are not of interest.

<sup>5</sup> The cost function can be more complicated and include costs for the startup and shutdown of a generator but we're not using that

$$\begin{aligned} \min_S \quad & \sum_i c_i(S) \\ \text{s.t.} \quad & \textcircled{19}, \\ & |f_{ij}| \leq f_{\max} \end{aligned} \tag{22}$$

## ANNEXE IV : PRODUCT BACKLOG

Issue	Title	SP	State	Milestone	Epic	Comment
1	As a user I want to see a map so I have a background for PanTaGruEl grid	1	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
2	As a developer I want to deploy the app so I know it will be possible at the end	1	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
3	As a user I want to see a map with 4 types of elements (branch, bus, load, gen), so I can visualize the PanTaGruEl grid	2	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
4	As a user I want to see gens with different color so I can differentiate them	2	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
5	As a user I want to see loads with population proportional size so I can identify the most important loads	2	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
6	As a user I want to see gen poportional size base on max production so I can identify the most important gens	2	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
7	As a user I want to see branches with color based on the load so that i can identify weak element	2	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
8	As a user I want to see by visual display the ratio of production of gen so that i can identify weak element	2	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
9	As a user I want to see different width of branches so I can identify the most important branches	2	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
10	As a user I want to access to details of a branch or a bus/gen/load so I can have more informations	8	Closed	Sprint 1 - display data	E1	
11	As a user I want to disable some display functionalities so I can choose the information useful for me	13	Closed	Sprint 2 - choose data to show	E2	
12	As a user I want to select a date and time so I can choose which data to represent	5	Closed	Sprint 2 - choose data to show	E2	
13	As a user I want to increase/decrease power in MW of a gen so I can see the impact on the rest of the grid	8	Closed	Sprint 3 - create scenario	E3	Initially estimate at 5 SP

14	As a user I want to increase/decrease the consumption of a load so I can see the impact on the rest of the grid	5	Closed	Sprint 3 - create scenario	E3	
15	As a user I want to enable/disable branches so I can see the impact on the rest of the grid	3	Closed	Sprint 3 - create scenario	E3	
16	As a user I want to differentiate the elements of the map at all zoom levels so that I can work at different scales	5	Closed	Sprint 3 - create scenario	E1	Initially estimate at 3 SP
17	As a user I want to export a high resolution image of the map so I can transmit data to external people	5	Closed	Sprint 3 - create scenario	E4	
18	As a user I want to share a permalink so I can show a scenario to external people	8	Closed	Sprint 3 - create scenario	E4	
19	As a user I want to see the list of my modifications before calculating the grid so I can check my work	5	Closed	Sprint 4 - manage edition	E3	
20	As a user I want to click on the edited bus (in list) to refocus the map and show information so I can verify my modifications	3	Closed	Sprint 4 - manage edition	E3	
21	As a user I want to provide data for each country to generate different scenarios	8	Closed	Sprint 4 - manage edition	E3	
22	As a user I want to save an edited grid so I can access it later	3	Open		E4	
23	As a user I want to display saved edited grid so I can redisplay it	3	Open		E4	
24	As a user I want to export a high resolution image of the map without background so I can transmit data to external people	5	Open		E4	
25	As a user I want to choose AC / DC powerflow mode before generate a new grid so I can have the calculation mode adapted to my needs	3	Closed	Sprint 3 - create scenario	E3	
26	As a user I want to display two grid so I can compare scenarios	13	Open		E3	
27	As a developer I want to warn user on phone about the supported devices to prevent some unexpected manipulation	3	Open			
28	As a user I want to select several bus/branch to have the sum of the values	5	Open		E1	

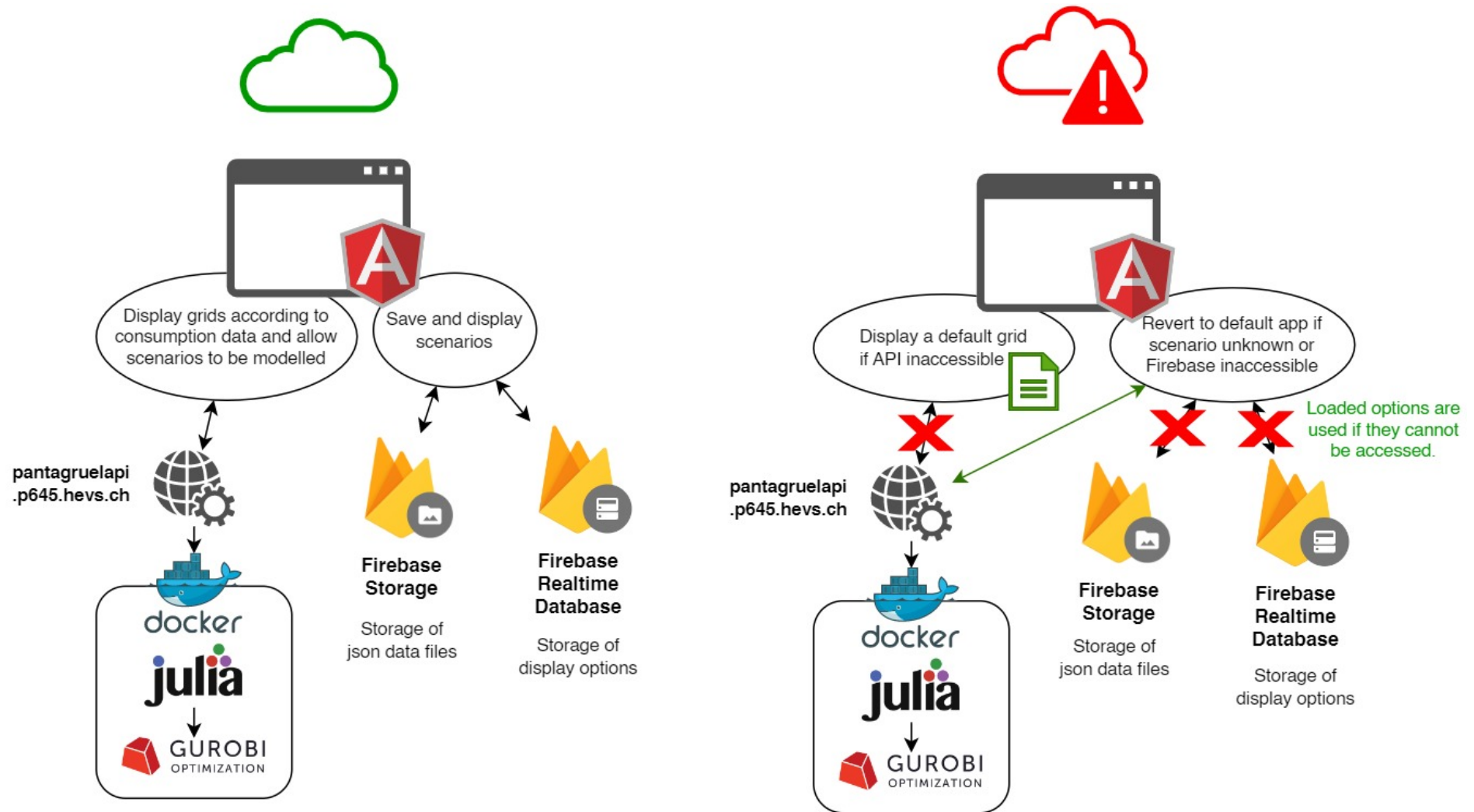


29	As a user I want to update ENTSO-E data so I can choose more recent date in date picker.	13	Open		E2	
30	As a user I want to edit production of a type of gen country data,... with cursor so I can see real time impact	34	Open			
31	As a user I want to show map only for Switzerland so ...	13	Open			
44	As a user I want to be warned of the balance (generation/production) before calculating the grid so I can send a correct grid to the API	5	Closed	Sprint 4 - manage edition	E3	
45	As a user I want to see transformers on the map so I can identify them	5	Closed	Sprint 2 - choose data to show	E1	Added during sprint 1
46	Little square no more center on bus coord	Incident	Closed	Sprint 2 - choose data to show		
47	Popup display problem : more than 1 gen to a bus and 2 bus as same coord	Incident	Closed	Sprint 2 - choose data to show		
48	As a non initiate user I want to see the legend so I can understand the iconography	5	Closed	Sprint 2 - choose data to show	E1	Added during sprint 2
49	Total power of branch in summary are all equal	Incident	Closed	Sprint 2 - choose data to show		
50	As a user I want to see the direction of branches so I can more understand the direction of the flow	3	Closed	Sprint 4 - manage edition	E1	Added at the end of sprint 2
51	As a user I want to play a scenarios between two dates so I can see evolution in time	13	Open			Added at the end of sprint 2
52	Date/time picker move depending on screen size	Incident	Closed	Sprint 2 - choose data to show		
53	As a user I want to be aware of branch with a load injected more than 100% so I can see the risk of failure of the grid	3	Closed	Sprint 3 - create scenario	E1	Added during sprint 3
54	More than one transfo/branch at same coord are not displayed in popup	Incident	Closed	Sprint 3 - create scenario		
55	Download image on Firefox not working	Incident	Closed	Sprint 4 - manage edition		

56	As a external user I want to have a list of value (-/+ %) so I can edit consumption/production easier	5	Open		E3	Added at the end of sprint 3
57	Hide raw data in main app (let in dev)	Incident	Closed	Sprint 4 - manage edition		
58	As an external user I want to have information on the app (compatibility, tutorial) so I can use the app properly	8	Open		E3	Added at the end of sprint 3
59	Shareable link not working if deploy with mydomain.com/myproject	Incident	Closed	Sprint 4 - manage edition		
60	Check date before calling API always fails	Incident	Closed	Sprint 4 - manage edition		
61	As a user, I want to copy and paste the load values by country so that I can fill in all the fields at once	5	Open		E3	Added at the end of sprint 4

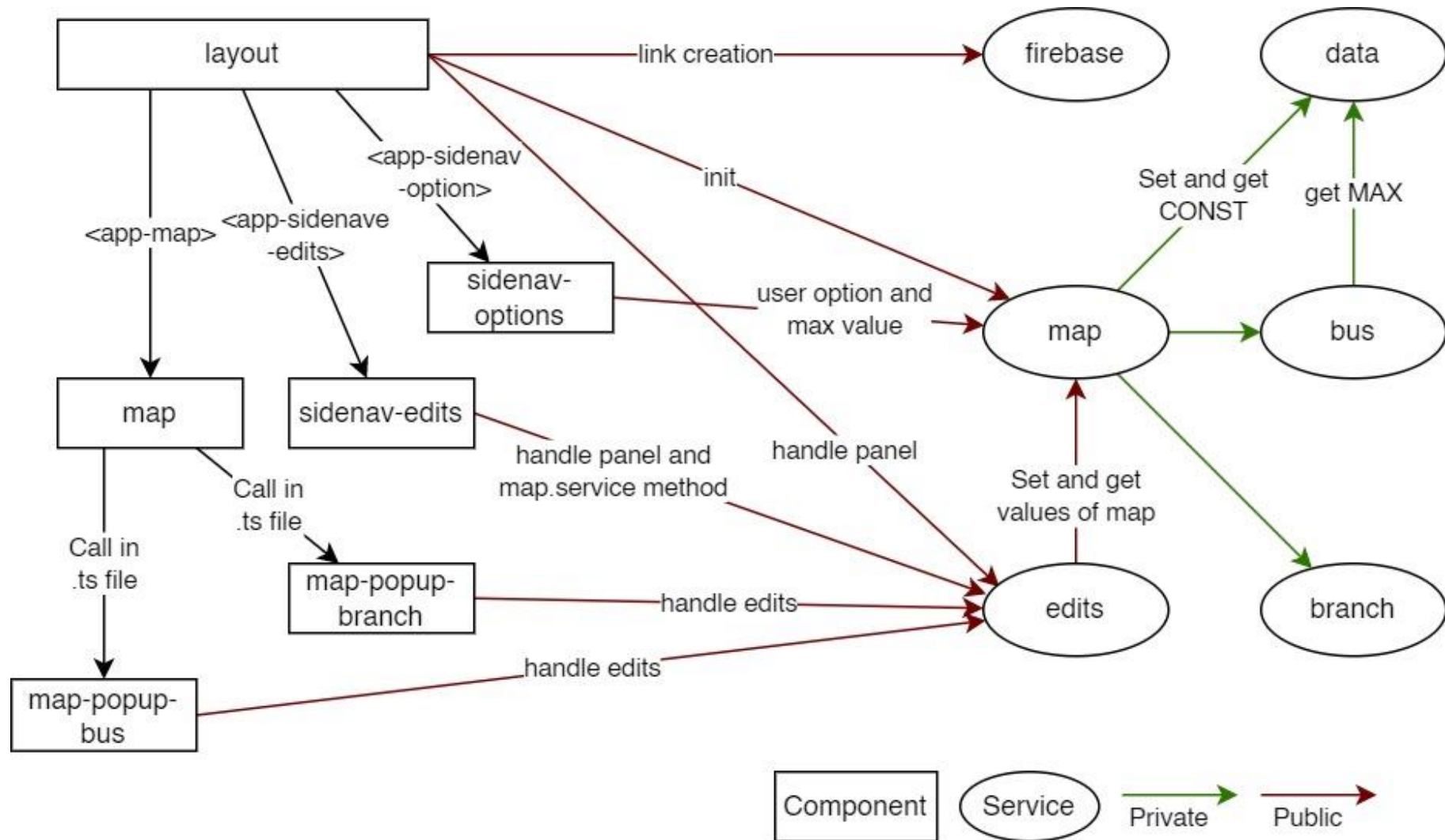
Source de l'auteur

## ANNEXE V : ARCHITECTURE DE L'APPLICATION



Source de l'auteur

## ANNEXE VI : STRUCTURE DU CODE



Source de l'auteur

## ANNEXE VII : SUIVI DES HEURES

Dates			Total
Du 3 mars au 4 mai 2023	Sprint 0 : entretien, analyse, rédaction, formation Angular	77:45	77:45
Du 4 mai au 25 mai 2023	Sprint 1 : code et meeting scrum	28:00	44:30
	Rédaction	16:30	
Du 25 mai au 15 juin 2023	Sprint 2 : code et meeting scrum	45:20	64:05
	Rédaction	18:45	
Du 15 juin au 13 juillet 2023	Sprint 2 : code et meeting scrum	57:00	70:00
	Rédaction	13:00	
Du 13 juillet au 29 juillet 2023	Sprint 2 : code et meeting scrum	45:55	68:10
	Rédaction	22:15	
Du 29 juillet au 10 août 2023	Rédaction et relecture	80:30	80:30
<b>Total :</b>			<b>405:00</b>

## DÉCLARATION DE L'AUTEUR

« Je déclare, par ce document, que j'ai effectué le travail de Bachelor ci-annexé seul, sans autre aide que celles dûment signalées dans les références, et que je n'ai utilisé que les sources expressément mentionnées. Je ne donnerai aucune copie de ce rapport à un tiers sans l'autorisation conjointe du RF et du professeur chargé du suivi du travail de Bachelor, y compris au partenaire de recherche appliquée avec lequel j'ai collaboré, à l'exception des personnes qui m'ont fourni les principales informations nécessaires à la rédaction de ce travail et que je cite ci-après : Professeur David Wannier et Professeur Philippe Jacquod ».

« Aucun logiciel d'intelligence artificiel n'a été utilisé pour la rédaction de ce travail ni le développement de l'application. »