Projet Smart-Réno

Smart-Réno
Fiabiliser, Professionnaliser et Valoriser

Fiabiliser, Professionnaliser, Valoriser la Rénovation Energétique
Deuxième volet : Industrialiser les processus de rénovation et professionnaliser les acteurs

Rapport plateforme utilisateur volet 2. Tâches 2.2/2.3/2.4

Auteur : Boris Brangeon (*boris.brangeon@plateforme-tipee.com*) – 01/11/2021
Relecteur : Cécile Jolas (*cecile.jolas@plateforme-tipee.com*) – 14/01/2022

TABLE DES MATIERES

1. Introduction 3
2. Avant-propos : introduction aux technologies utilisées dans la plateforme SaaS 4
3. Géolocalisation de l'existant 6
4. Identification de l'existant 10
5. Prédiction de la composition de l'enveloppe 11
6. Reconnaissance des composants de façade 14
7. Diagnostic énergétique de l'existant 15
8. Scénarios de réhabilitation 20
..... 20
9. Interface de simulations 21
10. Évaluation et choix de la stratégie de réhabilitation 21
..... 22
11. Difficultés de mise en production 22
12. Conclusion 23

TABLE DES FIGURES

Figure 1 Industrialisation des processus de rénovation. 3
Figure 2 Schéma explicatif des relations entre le back-end et le front-end. 5
Figure 3 Interface de géolocalisation. 7
Figure 4 Proposition des adresses par auto-complétion. 7
Figure 5 Découpage de la commune. 8
Figure 6 Découpage des parcelles cadastrales. 8
Figure 7 Proposition des empreintes au sol des habitations. 9
Figure 8 Sélection de l'habitation à étudier. 9
Figure 9 Identification de l'existant. 11
Figure 10 Typologie des bâtiments résidentiels en France dans le cadre du projet TABULA et EPISCOPE (https://episcope.eu/welcome/) 12
Figure 11 Interface de reconnaissance des composants de façade par deep-learning. 14
Figure 12 Mise en valeur d'une prédiction. 15
Figure 13 Niveaux d'importance des caractéristiques. 16
Figure 14 Matrice de confusion. L'axe des abscisses représentent les valeurs prédites et l'axe des ordonnées représentent les valeurs réelles 17
Figure 15 Interface de restitution des résultats. Prédiction du Cep à gauche par machine learning et calcul du Bbio à droite par le calcul. 19
Figure 16 Matrice des choix de scénarios possible. 20
Figure 17 Interface permettant de combiner les choix des scénarios. 20
Figure 18 Interface de « monitoring » des différentes optimisations. 21
Figure 19 Interface Tableau Software permettant de visualiser les résultats. 22

1. Introduction

Le projet Smart Réno a pour finalité d'aider à l'accélération des actes de rénovation des bâtiments résidentiels individuels en France. L'activité de rénovation des bâtiments peut présenter des défauts importants, empêchant le passage à l'acte ; atomisation de l'offre, fluctuation importante des coûts, prescriptions personnalisées inexistantes…

Il est donc important, pour inciter les clients à engager des processus de rénovation, d'améliorer leur confiance en professionnalisant les filières engagées à travers une architecture de services.

Dans le volet 2 du projet, nous nous concentrons sur le développement d'une chaine d'outils qui, en s'appuyant sur des moyens récents tels que le BIM*, les données issues d'objets connectés ou de compteurs intelligents, les méthodes d'analyse d'images et toutes les ressources disponibles sur Internet, permettront la génération automatique de services liés à la rénovation : diagnostics, analyses d'impacts de gestes de rénovation, métrés, devis, … le tout centré sur le cas des maisons individuelles.

L'ensemble du volet 2 se décompose en 5 tâches :

1. Données exploitables ;
2. Diagnostic énergétique automatisé des bâtiments existants ;
3. Outils d'évaluation des apports des solutions de rénovation ;
4. Construction automatique de métrés et de devis ;
5. Construction de plans de travaux et de plans de contrôle de la qualité.

Cette chaine d'outils se présente sous la forme d'un applicatif de type "Proof-of-Concept" (POC), c'est à dire une interface en ligne permettant d'aider à la préconisation de stratégies optimales de rénovation énergétique.

Ce POC est constitué de briques méthodologiques et/ou calculatoires élémentaires interchangeables. Le périmètre d'étude restant la rénovation énergétique de maisons individuelles[1]. La Figure 1 propose une décomposition des processus d'industrialisation de la rénovation, qui constitue la feuille de route de développement de l'applicatif.

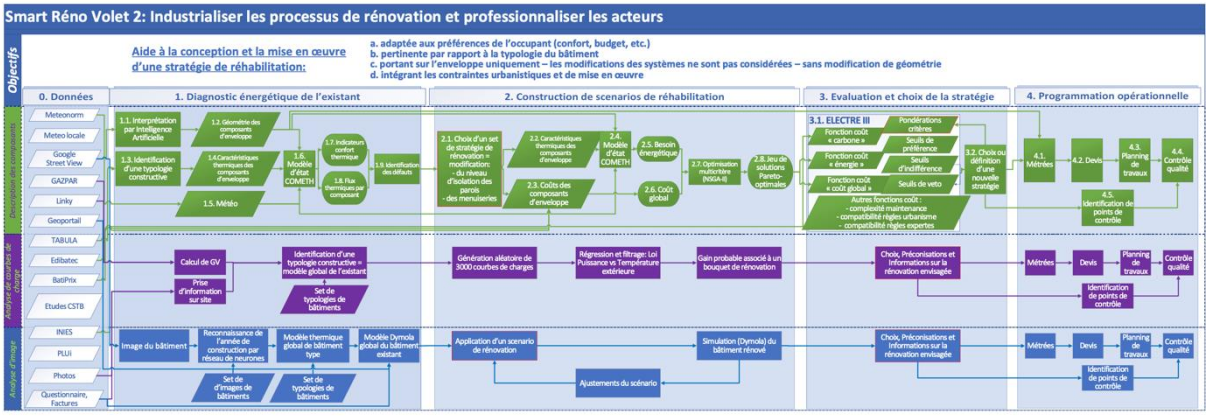

Figure 1 Industrialisation des processus de rénovation.

[1] L'application dans un second temps aux immeubles de logements collectifs n'est cependant pas exclue.

L'interface en ligne est une plateforme *software as a service* (SaaS) ou logiciel en tant que service. C'est un modèle d'exploitation des logiciels dans lequel ceux-ci sont installés sur des serveurs distants plutôt que sur la machine de l'utilisateur. L'utilisation de solutions logicielles en tant que service en entreprise permet un meilleur contrôle des charges techniques. L'ensemble des solutions techniques étant délocalisées le coût devient fixe, généralement fonction du nombre de personnes utilisant la solution SaaS.

Un avantage manifeste pour les entreprises est la rapidité de déploiement lorsque le logiciel SaaS correspond exactement au besoin (et qu'il ne nécessite aucune adaptation). Les solutions SaaS étant déjà préexistantes, le temps de déploiement est extrêmement faible. Néanmoins, un des inconvénients majeurs, lors de la mise en place de solutions SaaS, est que les données relatives à l'entreprise cliente sont généralement stockées sur les serveurs du prestataire fournissant la solution. Lorsqu'il s'agit de données sensibles ou confidentielles, l'entreprise est obligée de prendre des dispositions contractuelles avec le fournisseur (RGPD par exemple).

La plateforme SaaS développée par Tipee dans le cadre du volet 2 de Smart-Réno se décompose en huit tâches déroulées par les utilisateurs :

1. Une géolocalisation de l'existant ;
2. Une identification de l'existant ;
3. Une prédiction de la composition de l'enveloppe ;
4. Une reconnaissance des composants de façade ;
5. Un diagnostic énergétique de l'existant ;
6. Une construction des scénarios de réhabilitation ;
7. Une interface de simulations ;
8. Une évaluation et choix de la stratégie de réhabilitation.

Le document a pour but de présenter la plateforme qui est le fil conducteur des travaux menés au travers des tâches 1, 2, 3 et 4 du volet 2.

2. Avant-propos : introduction aux technologies utilisées dans la plateforme SaaS

La plateforme SaaS est composée d'un front-end et d'un back-end. Les interfaces sur lesquelles interagiront les utilisateurs sont considérées comme du front-end. En effet, il s'agit de la partie visible de l'application, destinée à être manipulée par un tiers. Le front-end se compose généralement d'un client web : ReactJS, PHP, HTML qui communique de manière sécurisée avec le back-end.

Une interface bien qu'ergonomique et design reste une coquille vide s'il n'y a pas de back-end. En accord avec un cahier des charges, le back-end va exécuter les fonctionnalités de la plateforme (lecture/écriture des données, exécution de services, etc.). Le back-end se compose généralement de trois éléments :

- Un serveur web : Nginx, Apache
- Une application web service : Flask, PHP
- Une base de données pour organiser les données : Mongodb, PostgreSQL

La Figure 2 présente les relations entre les différentes technologies nécessaires au fonctionnement de la plateforme SaaS.

On retrouve le front-end développé avec le Framework ReactJS – Redux. Celui-ci envoi des requêtes HTTP et reçoit des réponses HTTP au format JavaScript Object Notation (JSON), qui est un format léger d'échange de donnée, au serveur WEB (Nginx).

Le serveur Web transmet, filtre ces différentes informations au web service API RESTFul (Flask). API REST (Representational State Transfer Application Program Interface) est un style architectural qui permet aux logiciels de communiquer entre eux sur un réseau ou sur un même appareil. Le plus souvent les développeurs utilisent des API REST pour créer des services web. Souvent appelés services web RESTful, REST utilise des méthodes http (GET, POST, DELETE) pour récupérer et publier des données entre un périphérique client et un serveur. La sécurité de l'API concerne le transfert des données via des API connectées à Internet.

Pour la délégation des accès, il existe une norme ouverte nommée OAuth (Open Authorization). Elle permet aux utilisateurs d'accorder à des tiers l'accès à des ressources web sans avoir à partager leurs mots de passe.

Suivant la méthode HTTP utilisée, le service web communique soit directement ou par un intermédiaire (liste de tâches a effectuées de manière synchrone ou asynchrone : Celery - Distributed Task Queue) avec les différents services suivants :

1. Base de données (Mongodb, PostgreSQL) ;
2. Exécution de scripts (Python) ;

Pour finir, le service web récupère les différentes réponses au client (front-end) qui interprète les données.

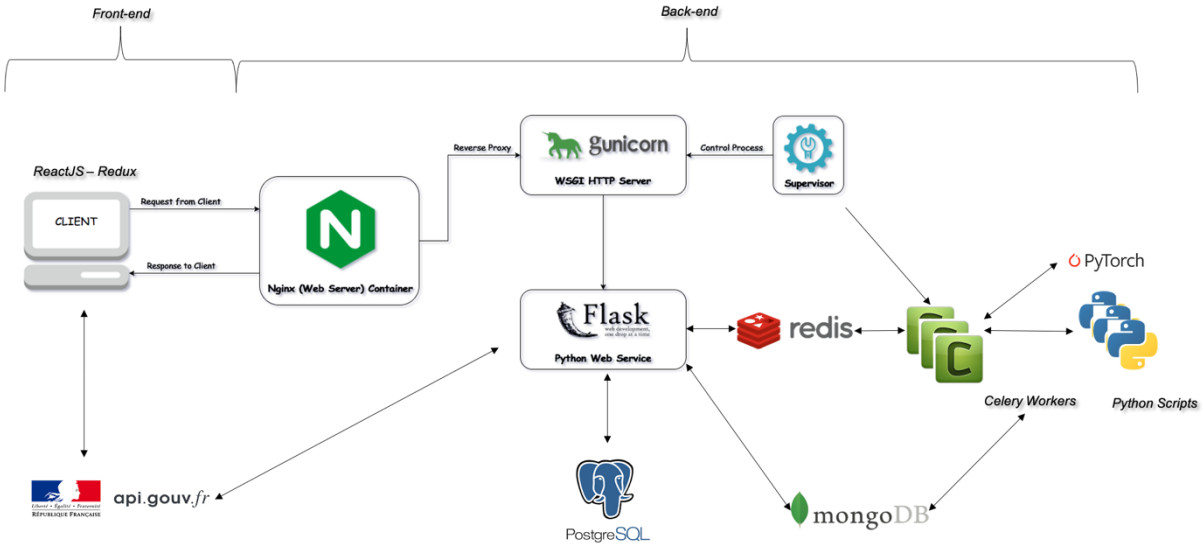

Figure 2 Schéma explicatif des relations entre le back-end et le front-end.

On trouvera ci-après un tableau qui synthétise les avantages et inconvénients de l'architecture numérique mise en place.

Tableau 1 Avantages et inconvénients de l'architecture numérique.

Avantages	Inconvénients
Tous les services sont séparés : souplesse de développement	Énormément de langages et technologies sont utilisées : PHP, Javascript, Python, Administration linux et réseau
Le frontend de la plateforme multi-OS et est léger (5Mo)	Ouverture des ports vers l'extérieur pour le backend : problème de sécurité des données
Simplicité d'utilisation pour l'utilisateur	Le webservice doit être sécurisé avec des certificats SSL (https) et qui doivent être authentifié par un service tiers (Cerbot)
	L'utilisation des services du backend est asynchrone : augmente les difficultés de mise en œuvre

3. Géolocalisation de l'existant

Les données de géolocalisation et de découpage géographique sont issues de la plateforme ouverte des données publiques françaises data.gouv.fr qui est une plateforme de diffusion de données publiques (« *open data* ») de l'État français.

L'interface utilisateur propose une carte basée sur OpenStreetMap et une barre de recherche d'adresses qui communique avec l'API gouvernementale (https://geo.api.gouv.fr/adresse).

Le découpage des communes est basé sur l'API https://geo.api.gouv.fr/decoupage-administratif/communes.

Les figures suivantes illustrent le parcours utilisateur. (Voir Figure 3, Figure 4, Figure 5, Figure 6, Figure 7 et Figure 8).

Explication du parcours utilisateur concernant la géolocalisation de son habitation :

1. L'utilisateur recherche l'adresse de son logement et valide une adresse ;
2. L'interface géolocalise le logement et propose le découpage de la commune ;
3. L'utilisateur doit sélectionner et valider sa parcelle cadastrale ;
4. Par la suite, la plateforme SaaS recherche les bâtiments disponibles dans la base de données BDTOPO V3 ;
5. L'utilisateur sélectionne et valide son bâtiment.

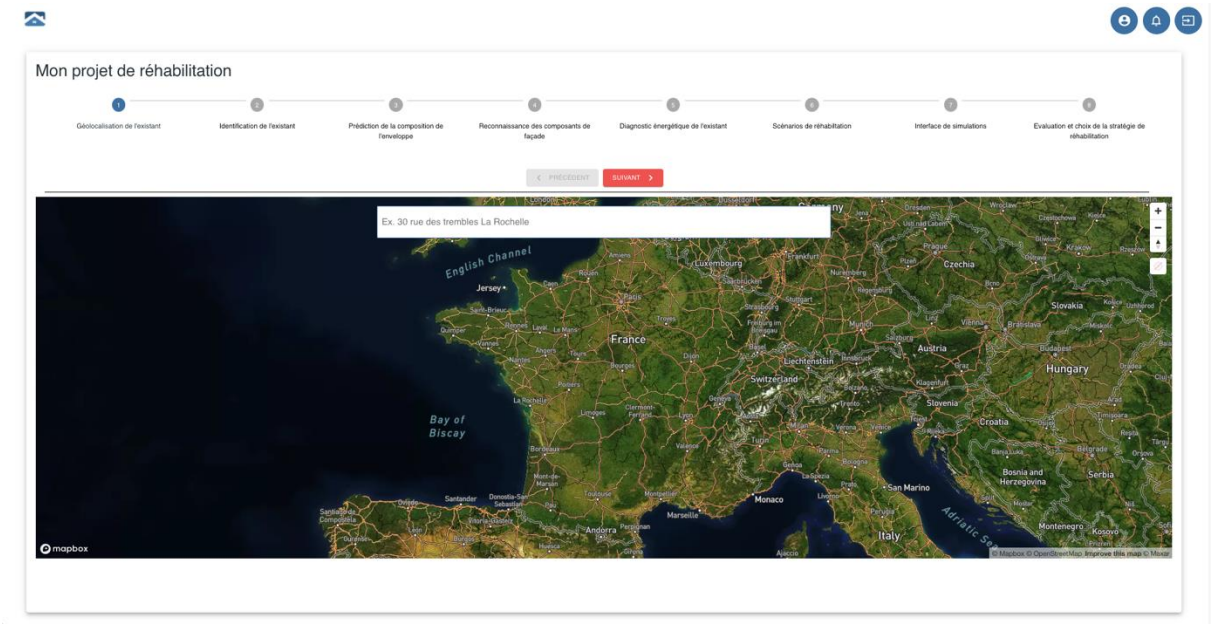

Figure 3 Interface de géolocalisation.

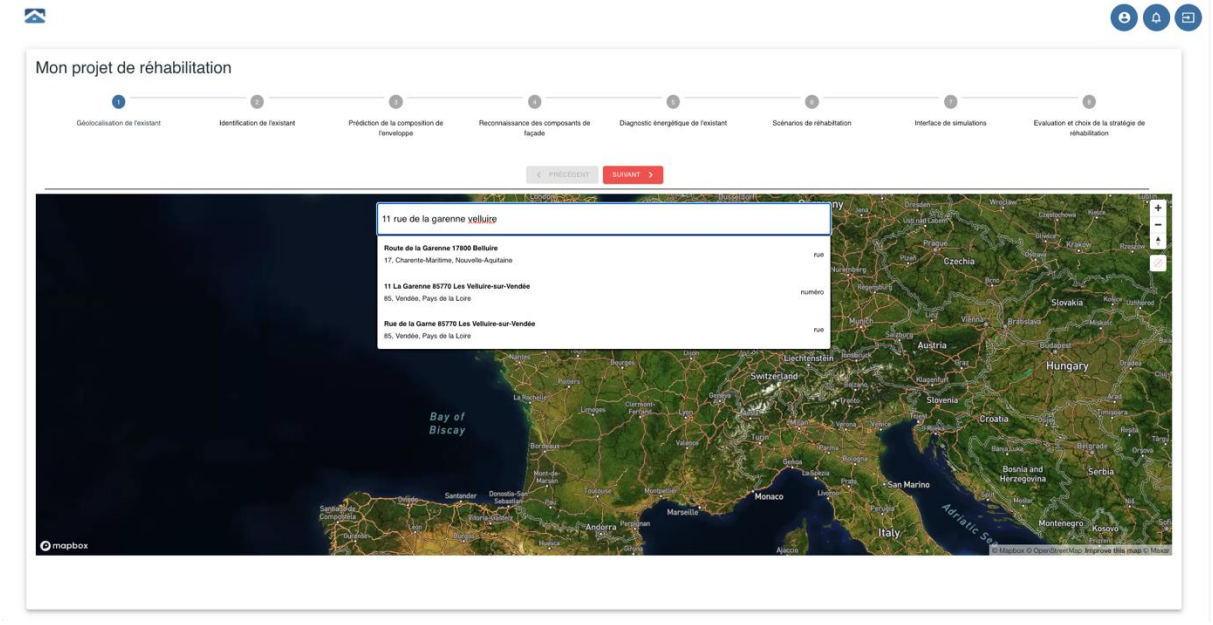

Figure 4 Proposition des adresses par auto-complétion.

Figure 5 Découpage de la commune.

Figure 6 Découpage des parcelles cadastrales.

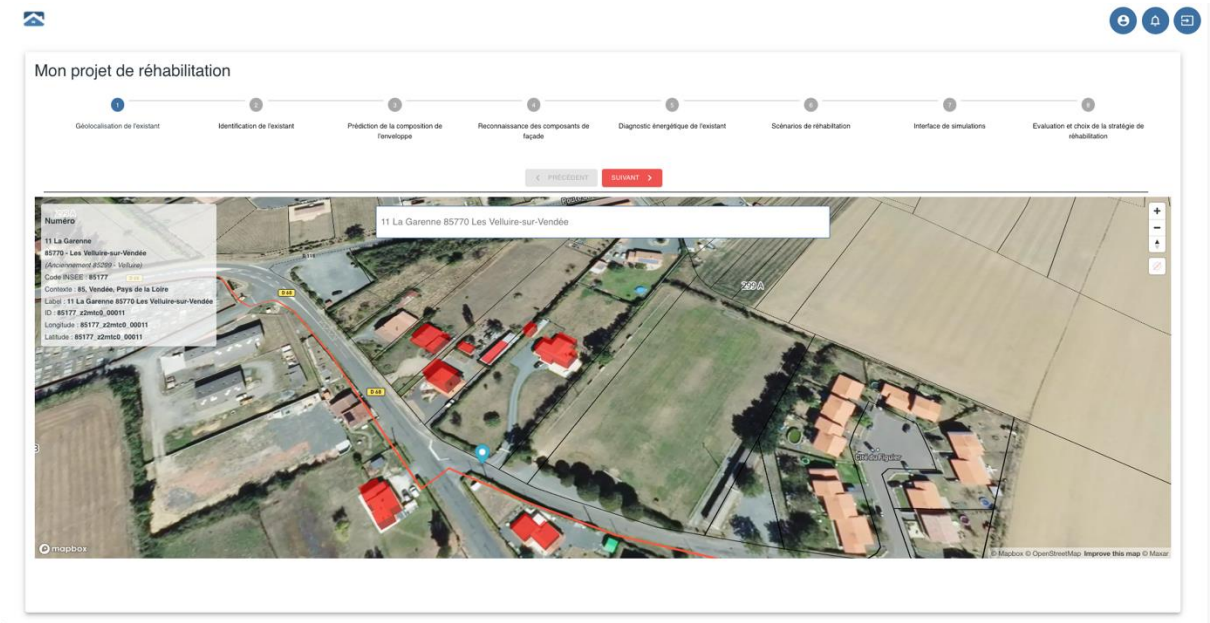

Figure 7 Proposition des empreintes au sol des habitations.

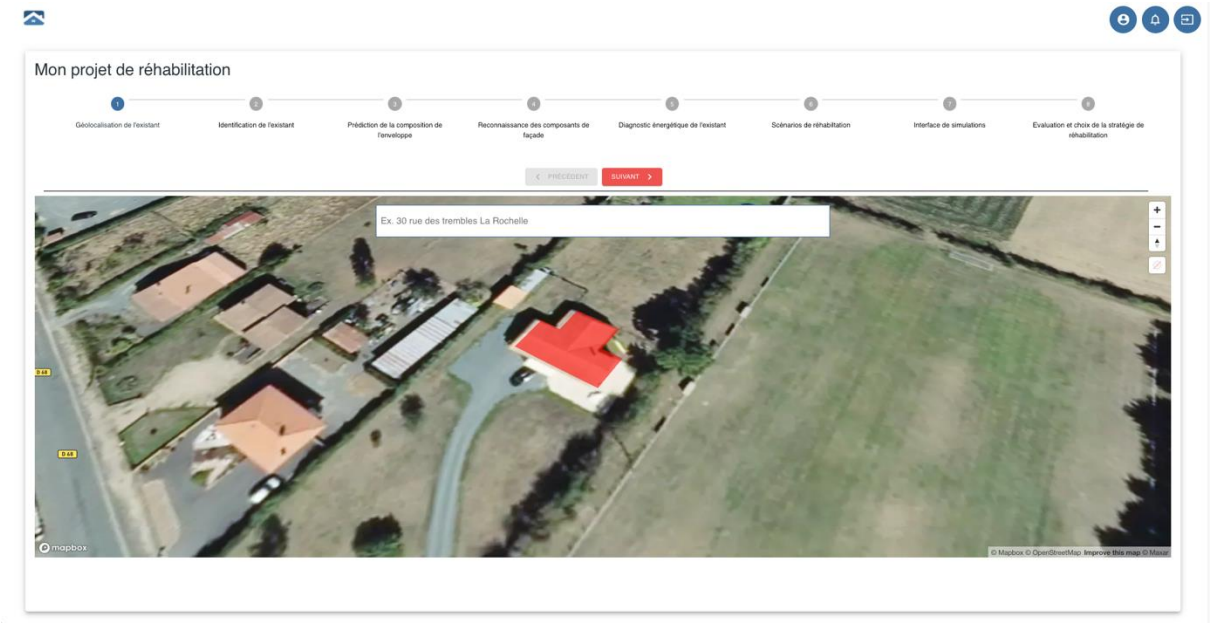

Figure 8 Sélection de l'habitation à étudier.

Le tableau ci-après présente les avantages et inconvénients de la géolocalisation :

Tableau 2 Avantages et inconvénients de la géolocalisation.

Avantages	Inconvénients
Le frontend est très simple d'utilisation : quatre clics pour géolocaliser son logement	L'adresse effective est parfois mal placée sur la carte par rapport au cadastre
La gestion du service est indépendante du back-end. Seulement la dernière requête fait appel au backend pour récupérer les données de BDTOPO	Le front end dépend de données open-sources notamment les données cadastrales : problème de pérennité du service.
80% des bâtiments français sont décrits dans BDTOPO. Le service est facilement interopérable avec une autre base de données : base de données nationales des bâtiments.	La base de données BDTOPO n'est pas indexée par département : lenteur du service de recherche.

4. Identification de l'existant

Les données du bâtiment dans son état existant sont obtenues essentiellement à partir de la base de données BD Topo V3 au format PostgreSQL.

La BD Topo est une base de données vectorielles 2D et 3D disponible depuis 2007 sur l'ensemble du territoire français. D'une précision métrique, elle permet une exploitation jusqu'à une échelle de 1/10 000 voire 1/5 000. Elle propose des métadonnées liées aux bâtiments.

A compter de 2022, toutes les données des bâtiments seront accessibles par l'intermédiaire de la base de données nationales des bâtiments.

Concernant l'origine géométrique du bâtiment, elle peut provenir de différentes sources (page 55 de DC_BDTOPO_3-0.pdf) :

1. Cadastre : la géométrie du bâtiment provient de fichiers cadastraux, parfois recalés par l'IGN. La saisie des contours est faite au niveau du mur.
2. Imagerie aérienne : la géométrie du bâtiment provient de la numérisation d'images aériennes. La saisie des contours est faite "à la gouttière" : la surface de l'objet bâtiments ne reflète pas rigoureusement l'emprise au sol au sens cadastral.
3. Autre : le mode de saisie de la géométrie du bâtiment est inconnu ou non identifié comme provenant du Cadastre ou d'une saisie sur images aériennes.

La géolocalisation du bâtiment a permis de rapatrier et enrichir le modèle thermique en données.

A savoir :

1. L'empreinte au sol du bâtiment ;
2. La hauteur du bâtiment ;
3. Le nombre d'étages du bâtiment ;
4. La nature des matériaux composant les murs ainsi que la toiture ;
5. La zone climatique du bâtiment ;
6. L'orientation du bâtiment ;
7. La forme de la toiture ;
8. Le nombre de façades du bâtiment ;
9. La représentation simplifiée d'un modèle 3D du bâtiment.

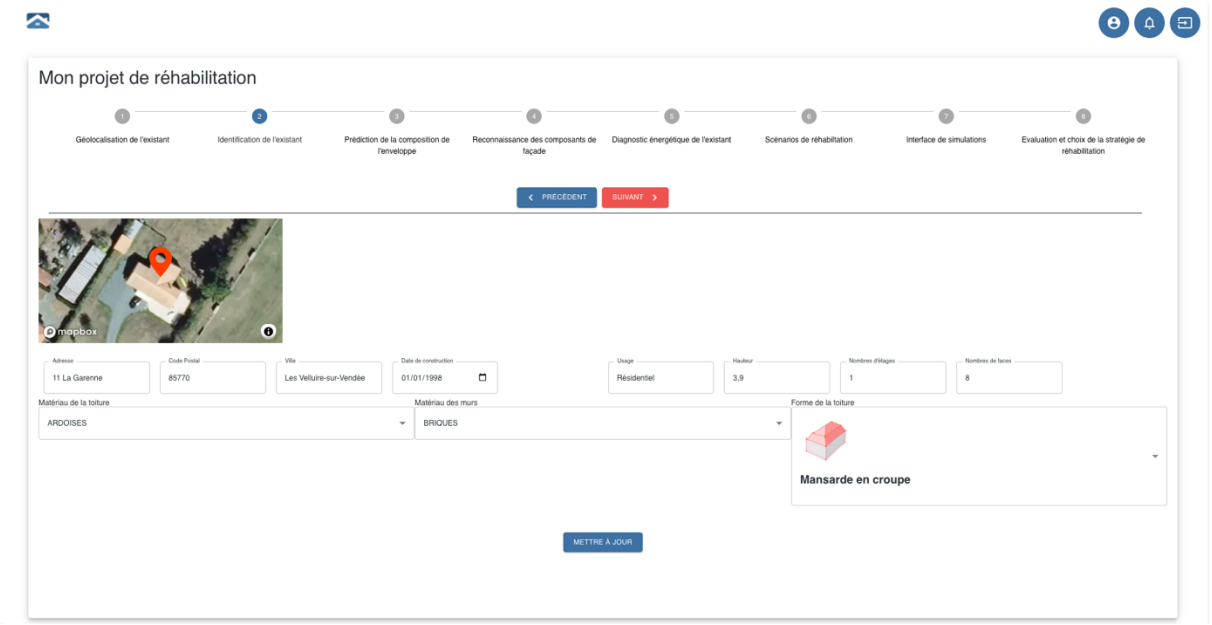

Figure 9 Identification de l'existant.

On trouvera ci-après un tableau présentant les avantages et inconvénients de la méthode de récupération des données sur l'existant :

Tableau 3 Avantages et inconvénients de la méthode de récupération des données sur l'existant.

Avantages	Inconvénients
Les données essentielles pour préparer un calcul énergétique sont disponibles dans une seule et même base de données.	Les informations sont parfois manquantes dans la base de données BDTOPO
L'interface permet très simplement de saisir des données afin de compléter les données manquantes.	

La partie suivante présente la méthode de prédiction de la composition de l'enveloppe afin d'en déduire les coefficients de transmissions thermiques des murs extérieurs, de la toiture, du plancher bas, des portes et des menuiseries extérieures.

5. Prédiction de la composition de l'enveloppe

A partir des informations récupérées sur l'enveloppe du bâtiment, le service interroge une base de données construite spécifiquement et notamment issue de l'outil en ligne TABULA. TABULA est une méthodologie visant à évaluer les performances énergétiques du parc résidentiel. Elle regroupe des typologies de bâtiments résidentiels et une méthode de calcul pour évaluer les consommations énergétiques pour le chauffage ainsi que leurs réductions par des mesures de rénovation énergétique.

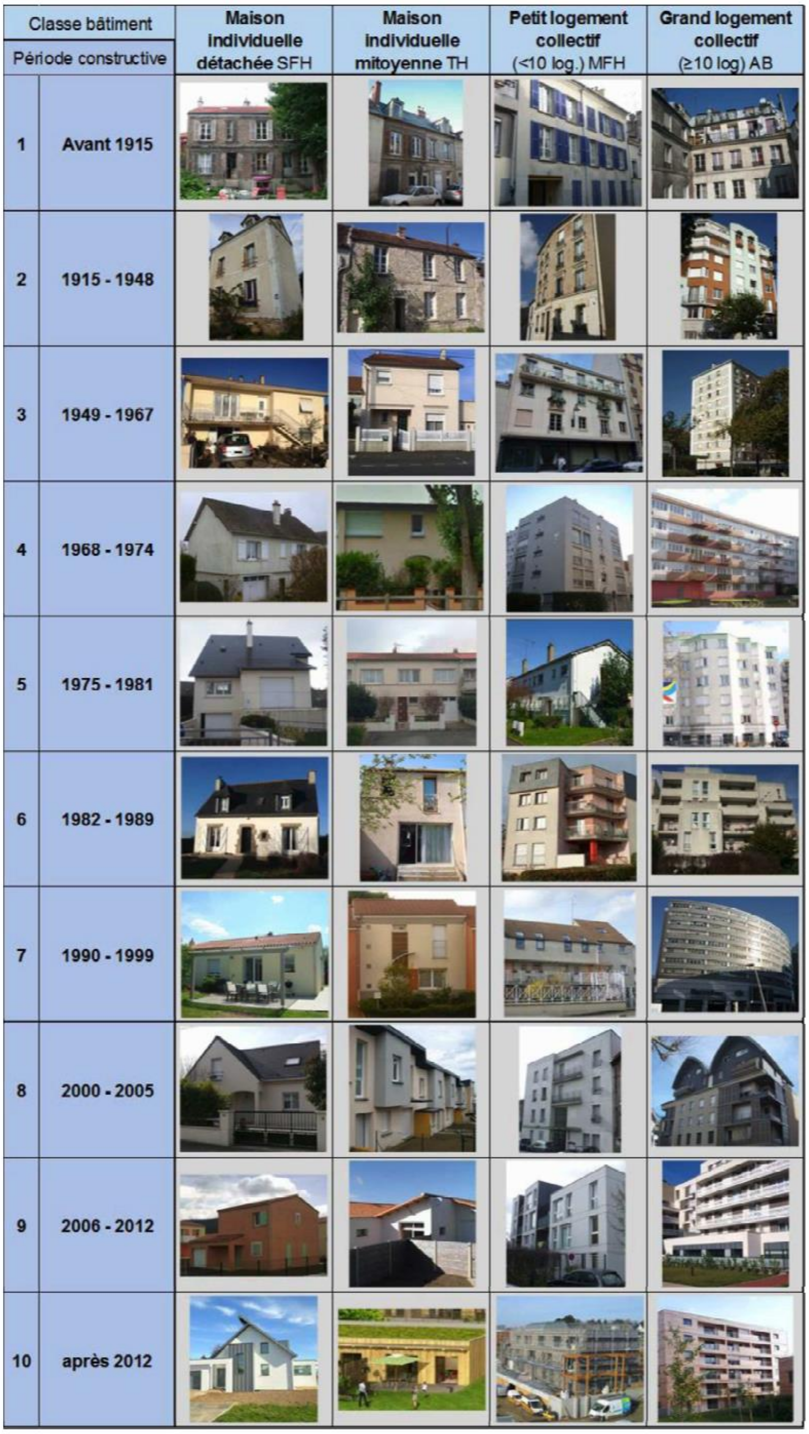

Figure 10 Typologie des bâtiments résidentiels en France dans le cadre du projet TABULA et EPISCOPE (https://episcope.eu/welcome/)

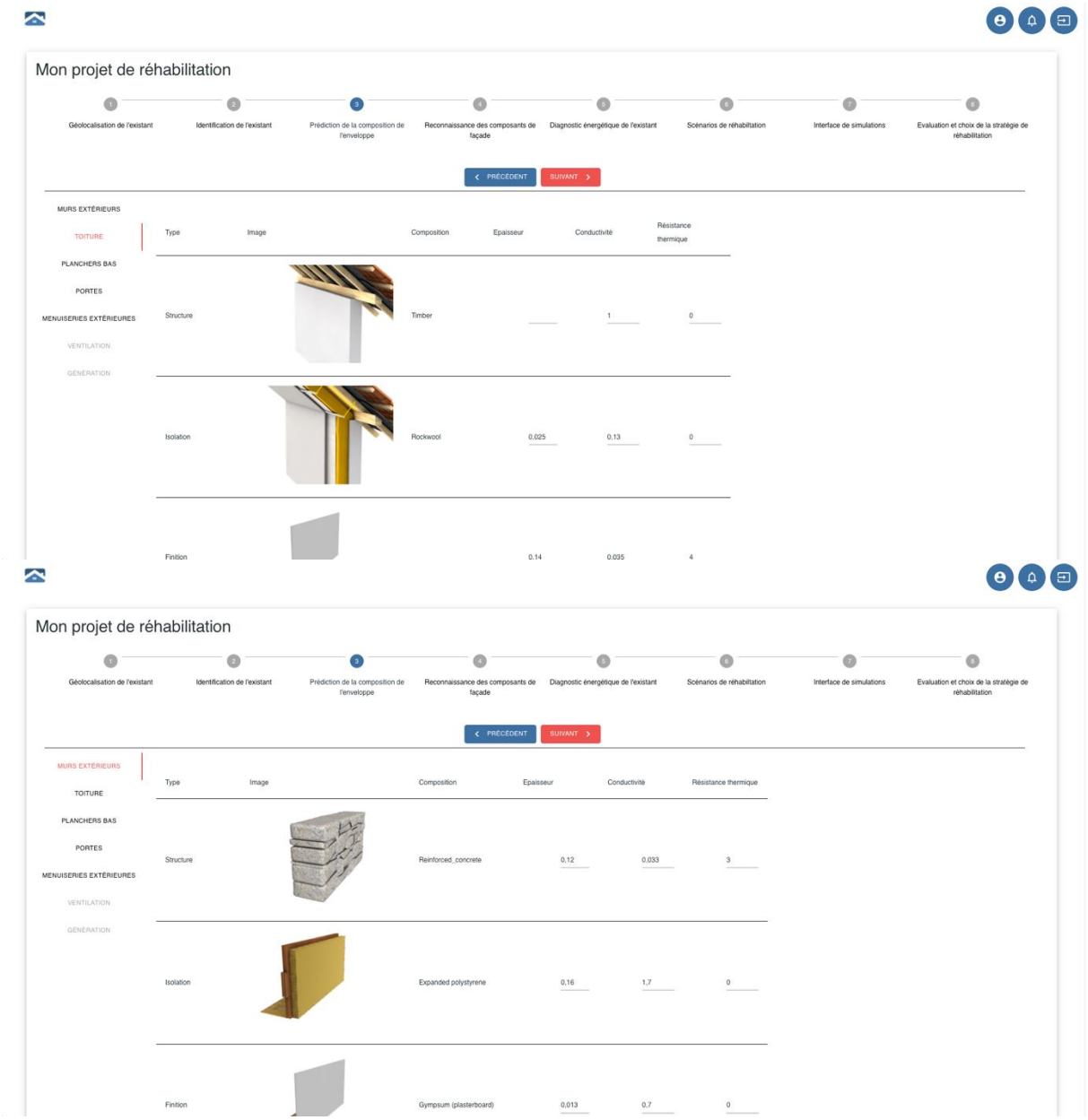

Tableau 4 Avantages et inconvénients de la méthode de récupération des données sur l'existant.

On trouvera ci-après un tableau présentant les avantages et inconvénients de la méthode de récupération des données sur l'existant :

Avantages	Inconvénients
La méthode est issue de données statistiques donc rapide	
L'interface permet de modifier les données si celles-ci ne sont pas exactes	On ne peut pas à l'heure actuelle rajouter de nouvelles typologies constructives.
Les données statistiques portant sur les systèmes HVAC sont disponibles cependant elles ne sont pas mises à disposition de l'utilisateur	

La partie suivante présente la méthode mis en place pour la reconnaissance des composants de façade afin d'en déduire le pourcentage de surface des menuiseries par façade ainsi que la part des parois opaques.

6. Reconnaissance des composants de façade

L'objectif de cette tâche est de détecter les composants de façade à partir d'une soumission d'images de la part de l'utilisateur. Les composants à détecter sont les suivants :

1. Le contexte ;
2. La façade ;
3. Les menuiseries ;
4. Les portes ;
5. La porte de garage ;
6. La toiture avec comble ;
7. La toiture terrasse ;
8. Les volets.

L'intérêt principal de cette reconnaissance automatisée est de déduire de manière approchée les surfaces des menuiseries extérieures et de parois opaques ainsi que le nombre d'étage des habitations afin de constituer le modèle thermique du bâtiment existant.

La reconnaissance des composants de façade est basée sur une méthode d'intelligence artificielle de réseau de neurones profonds (deep-learning).

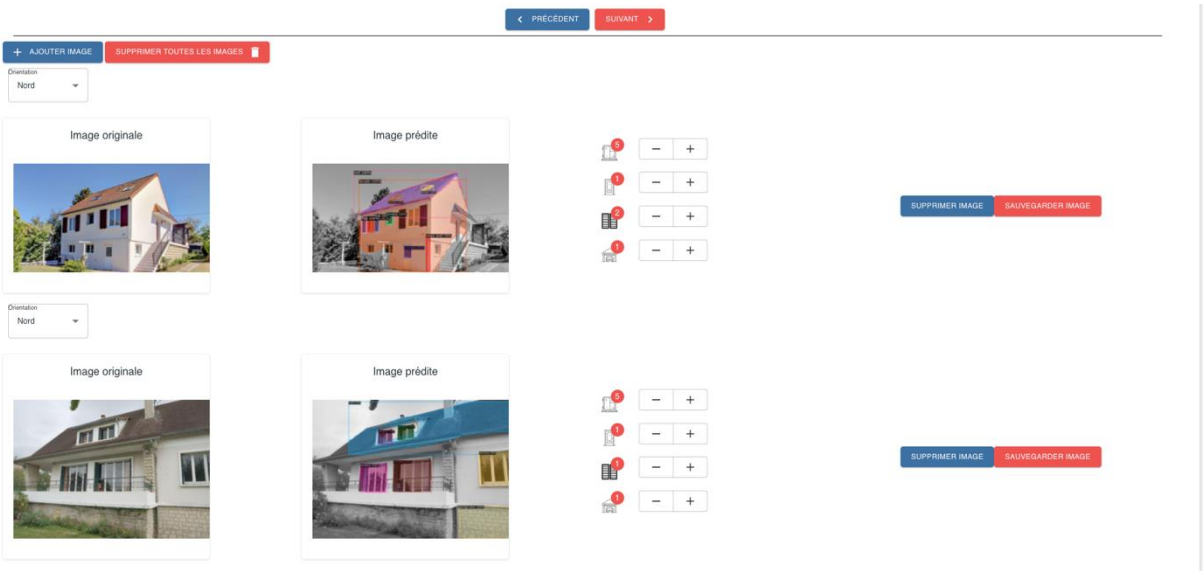

Figure 11 Interface de reconnaissance des composants de façade par deep-learning.

L'utilisateur dispose d'un bouton pour ajouter une image de sa façade. L'image est ensuite envoyée au service afin de réaliser une prédiction. L'image originale est ensuite affichée ainsi que les masques des différentes prédictions. L'utilisateur dispose de deux boutons plus et moins afin de pouvoir corriger les prédictions sur le nombre de menuiseries, de porte, de volets et de garage (voir Figure 11 et Figure 12). L'usager doit définir l'orientation de la façade avec un bouton mis à disposition.
Le service prédit parallèlement le pourcentage de surface vitrée ainsi que la surface de parois opaques de chaque façade.

Figure 12 Mise en valeur d'une prédiction.

Tableau 5 Avantages et inconvénients de la méthode de récupération des données sur l'existant

Le tableau ci-après présente les avantages et inconvénients de la méthode de récupération des données sur l'existant :

Avantages	Inconvénients
Le modèle détecte à la fois l'emplacement des composants mais aussi leur délimitation au pixel près	La prise de vue de l'image peut fausser la prédiction des composants ainsi que la prédiction des surfaces
Le modèle distingue les composants par famille ce qui permet de les dénombrer	
L'interface permet de modifier les incohérences du modèle par l'intermédiaire d'une saisie simple	L'orientation des façades pourrait se prédire elle aussi par deep-learning ce qui permettrait de réduire la saisie d'information par l'utilisateur.

La partie suivante présente la méthode de prédiction de l'étiquette énergétique par un modèle de machine learning et la méthode d'évaluation des performances de l'enveloppe avec le Bbio par un calcul numérique.

7. Diagnostic énergétique de l'existant

Le service qui évalue le diagnostic énergétique de l'existant récupère essentiellement les données sur les typologies constructives des bâtiments résidentiels à partir d'une période constructive fournie par BD Topo (voir Figure 10). Des valeurs cibles pour les coefficients U des éléments de l'enveloppe thermique sont ainsi déduites. La méthode de reconnaissance des composants de façade enrichit le modèle thermique avec les surfaces des parois opaques ainsi que la surface des ouvrants.

Dans un premier temps, une prédiction de l'étiquette énergétique du bâtiment existant est réalisée à partir d'un apprentissage supervisé des données portant sur le diagnostic de performance énergétique (DPE) qui renseigne sur la performance énergétique des maisons individuelles, en évaluant sa consommation d'énergie. Pour cela, on définit dix caractéristiques représentatives d'une étiquette énergétique, à savoir :

1. Type énergie (ex : Bois, Gaz, Électrique)
2. Année de construction (ex : 1989),
3. Surface habitable (ex : 120 m^2),
4. Hauteur moyenne (ex : 6 m),
5. Nombre de niveaux (ex : 1),
6. Zone hiver code (ex : H2c),
7. Surface planchers bas déperditifs (ex : 115 m^2),
8. Surface parois verticales opaques déperditives (ex : 200 m^2),
9. U parois verticale (ex : 1.60)

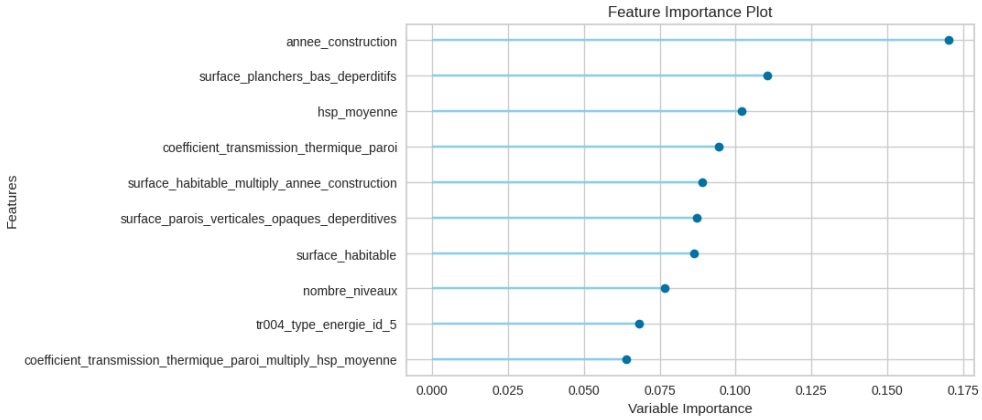

Figure 13 Niveaux d'importance des caractéristiques.

Dans cette démarche de machine Learning, notre objectif est de nourrir un algorithme grâce aux données du DPE, afin d'apprendre à l'ordinateur à effectuer certaines tâches spécifiques, comme pouvoir classifier des données avec leur étiquette de consommation énergétique (A, B, C, D, E et F).

Tableau 6 Synthèses des données en entrée du modèle de machine learning

Jeu de données d'apprentissage	2284
Jeu de données d'apprentissage filtré	1827
Jeu de données test	457
Nombre de classe à prédire	6
Nombre de caractéristiques	10
Nombre de départements	13
Listes des départements	'17', '86', '16', '33', '11', '1', '26', '29', '54', '59', '60', '64', '83'

Dans le cadre de ce problème de classification, le modèle prédit des résultats à comparer à la réalité dans le but de mesurer son degré de performance. Pour mesurer cette performance, nous utilisons la matrice de confusion, permettant de mettre en valeur les prédictions justes et fausses pour les comparer avec des valeurs définies.

La matrice de confusion (voir

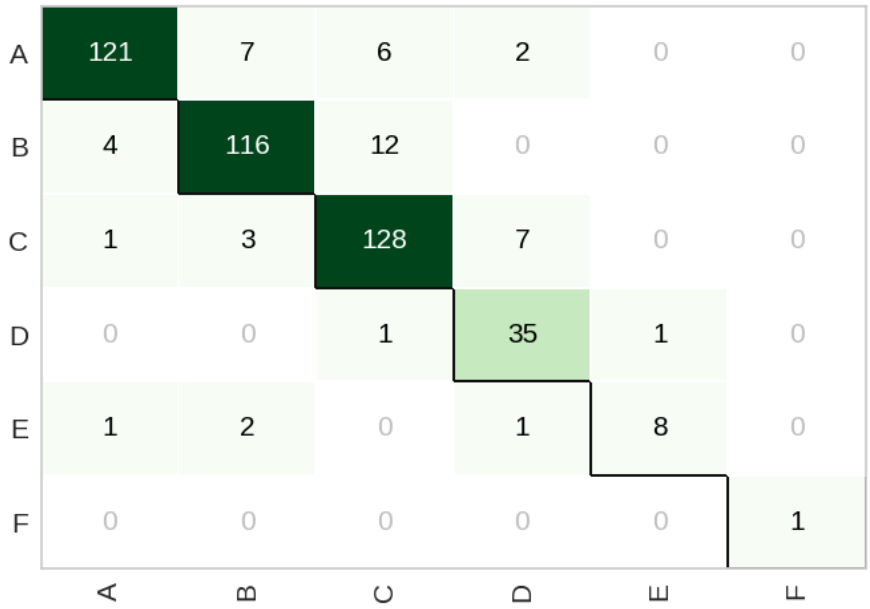

Figure 14) est un résumé des résultats de prédiction pour ce problème de classification. Elle **compare les données réelles pour une variable cible à celles prédites par un modèle**. Les prédictions justes et fausses sont révélées et réparties par classe (A, B, etc..) ce qui permet de les comparer avec des valeurs définies.

Les résultats d'une matrice de confusion sont classés en quatre grandes catégories : **les vrais positifs, les vrais négatifs, les faux positifs et les faux négatifs**.

1. **Les vrais positifs ou TP (**true positive) indiquent les cas où les prédictions et les valeurs réelles sont effectivement positives. Cela signifie que le modèle prédit une étiquette énergétique qui l'est réellement.

2. **Les vrais négatifs ou TN** (true negative) indiquent cependant les cas où les prédictions et les valeurs réelles sont toutes les deux négatives.

3. **Les faux positifs ou FP** (false positive) indiquent quant à eux une prédiction positive contraire à la valeur réelle qui est négative. Cela implique les cas où les étiquettes énergétiques sont considérées comme plus performante que la valeur réelle.

4. **Les faux négatifs ou FN** (false negative) font référence aux cas où les prédictions sont négatives alors que les valeurs réelles sont positives. Cela désigne les cas où les étiquettes énergétiques sont considérées comme moins performante que la valeur réelle.

La Figure 13 peut s'interpréter de la manière suivante. Pour une étiquette B prédite, dans 1116 cas le modèle est exacte est prédit bien l'étiquette (TP), pour 7 cas il prédit B alors que la valeur de l'étiquette réelle est A (FP) , 3 cas où il prédit B alors que la valeur de l'étiquette réelle est C (FN) et et 2 cas où il prédit B alors que la valeur de l'étiquette réelle est E (FN)..

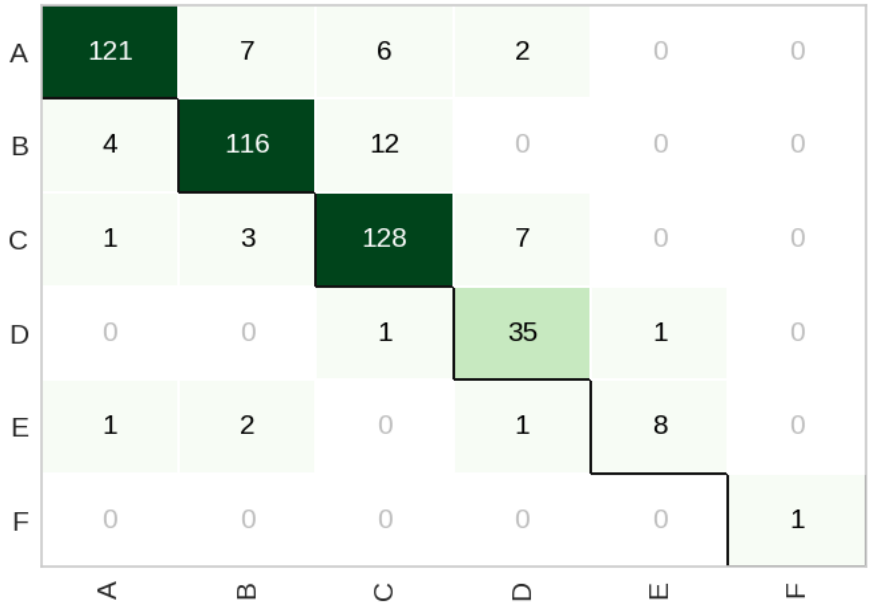

Figure 14 Matrice de confusion. L'axe des abscisses représentent les valeurs prédites et l'axe des ordonnées représentent les valeurs réelles

Le modèle de prédiction à un taux de précision (Accuracy) de **0.886%,** ce qui est acceptable. L'accuracy permet de connaître la proportion de bonnes prédictions par rapport à toutes les prédictions. L'opération est simplement **: Nombre de bonnes prédictions / Nombre total de prédictions**.
On cherche à avoir des valeurs le plus proche possible de 100%. Le problème de cette métrique est qu'elle n'indique pas les forces et faiblesses de notre modèle.

Le rappel **(recall)** permet de savoir **le pourcentage de positifs bien prédits par notre modèle.** En d'autres termes c'est **le nombre de positifs bien prédit** (Vrai Positif) **divisé par l'ensemble des positifs** (Vrai Positif + Faux Négatif). Plus le recall est haut, plus le modèle repère de positif.
La précision (**precision**) permet de connaître **le nombre de prédictions positives bien effectuées.** En d'autres termes c'est **le nombre de positifs bien prédit** (Vrai Positif) **divisé par l'ensemble des positifs prédit** (Vrai Positif + Faux Positif). Plus la précision est haute, moins le modèle se trompe sur les positifs.

Le F1-Score (2 x (recall x precision) / (recall + precision) permet d'effectuer **une bonne évaluation de la performance de notre modèle**. Plus le F1 Score est **élevé**, plus notre modèle est **performant**.

Tableau 7 Métriques du modèle de prédiction

Accuracy	Recall	Precision	F1-Score
0.8856	0.8479	0.8869	0.8853

D'après le Tableau 7 Métriques du modèle de prédiction, on peut conclure qu'avec seulement dix caractéristiques, on peut valider le fait que le modèle prédit correctement les étiquettes énergétiques.

Par la suite, un modèle thermique est généré au format XML RT2012 et un calcul des besoins bioclimatique du bâtiment (BBIO) est effectué avec le moteur de calcul réglementaire du CSTB.

Le calcul du **Bbio** est déduit de la règle de calcul suivante :

Bbio = 2 x Besoin en Chauffage + 2 x Besoin en Refroidissement + 5 x Besoin en éclairage

Le Bbio doit être inférieur à la valeur de l'exigence d'efficacité énergétique minimale du bâti Bbiomax. Le calcul du $Bbio_{max}$ est déduit de la règle de calcul suivante :

$$Bbio_{max} = \underline{Bbio_{maxmoyen}} \times (\underline{M_{bgéo}} + \underline{M_{balt}} + \underline{M_{bsurf}})$$

Avec :

- **$Bbio_{maxmoyen}$** : Valeur moyenne du Bbio max définie par le type d'occupation. La valeur est égale à 60 pour les bâtiments non climatisés et égale à 80 pour les bâtiments climatisés.
- **$M_{bgéo}$:** Coefficient de modulation dépendant de la localisation géographique

	H1a	H1b	H1c	H2a	H2b	H2c	H2d	H3
$M_{bgéo}$	1,2	1,4	1,2	1,1	1	0,9	0,8	0,7

- **M_{balt} :** Coefficient de modulation selon l'altitude

	0 à 400m	400 à 800m	800m et plus
M_{balt}	0	0,2	0,4

- **M_{bsurf} :** Coefficient de modulation selon la surface moyenne des logements du bâtiment. Il dépend du $Bbio_{maxmoyen}$, du nombre de logements et de la Surface Hors-Œuvre Nette au sens de la Réglementation Thermique (SHONRT)

➢ Si $\frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 120\ m^2$: $M_{bsurf} = \frac{30 - 0.25 \times SHON_{RT}/N_L}{Bbio_{maxmoyen}}$

➢ Si $120\ m^2 < \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 140\ m^2$: $M_{bsurf} = 0$

➢ Si $140\ m^2 < \frac{SHON_{RT}}{N_L} \leq 200\ m^2$: $M_{bsurf} = \frac{70/3 - SHON_{RT}/6 \times N_L}{Bbio_{maxmoyen}}$

➢ Si $\frac{SHON_{RT}}{N_L} > 200\ m^2$: $M_{bsurf} = -\frac{10}{Bbio_{maxmoyen}}$

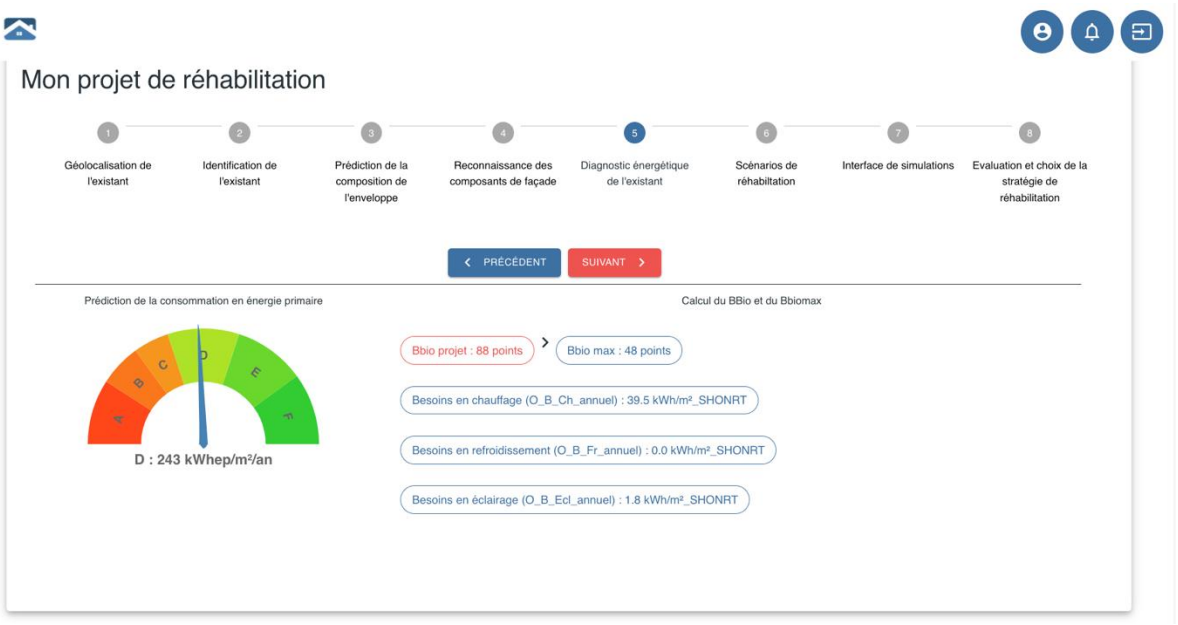

Figure 15 Interface de restitution des résultats. Prédiction du Cep à gauche par machine learning et calcul du Bbio à droite par le calcul.

Le tableau suivant présente les avantages et inconvénients de la méthode d'évaluation énergétique de l'existant :

Tableau 8 Avantages et inconvénients de la méthode d'évaluation énergétique de l'existant.

Avantages	Inconvénients
Le modèle de prédiction des étiquettes énergétiques est compétant (0.89% de précision F1-Score)	Le modèle peut être améliorer en augmentant le « dataset de départ »
La méthode de prédiction des étiquettes est instantanée contrairement au calcul du Bbio	Le calcul du Bbio fait intervenir un convertisseur des données de l'existant vers un modèle thermique simplifié du bâtiment en Xml RT2012. L'architecture numérique du backend est plus complexe
La modèle de prédiction ne demande pas de ressource numérique importante	

La partie suivante propose succinctement les scénarios de réhabilitation pouvant être choisi par l'utilisateur afin de déclencher une/ou plusieurs optimisations.

8. Scénarios de réhabilitation

La Figure 16 illustre l'ensemble des possibilités des scénarios pouvant d'être appliqué par l'utilisateur de la plateforme. Il existe 24 choix de scénarios possible.

	Menuiseries	ITI	ITE	Rampants	Combles perdues	Plancher bas
S0	x					
S1		x				
S2			x			
S3				x		
S4					x	
S5	x	x				
S6	x		x			
S7	x			x		
S8	x				x	
S9	x	x		x		
S10	x	x			x	
S11	x		x	x		
S12	x		x		x	
S13	x	x		x		x
S14	x	x			x	x
S15	x		x	x		x
S16	x		x		x	x
S17		x		x		
S18		x			x	
S19		x		x		x
S20		x			x	x
S21			x	x		
S22			x		x	
S23			x	x		x
S24			x		x	x

Figure 16 Matrice des choix de scénarios possible.

La Figure 17 présente l'interface de la plateforme pour appliquer les différents scénarios. L'utilisateur coche l'étoile en haut à droite de chaque encart. L'exemple de la Figure 17 propose le scénario S5 de la Figure 16. Une fois sélectionné, l'utilisateur appuie sur le bouton « Suivant » pour lancer une optimisation multicritère avec le service RENOIR (Réhabilitation ÉNergétique Optimisée et IntégRée).

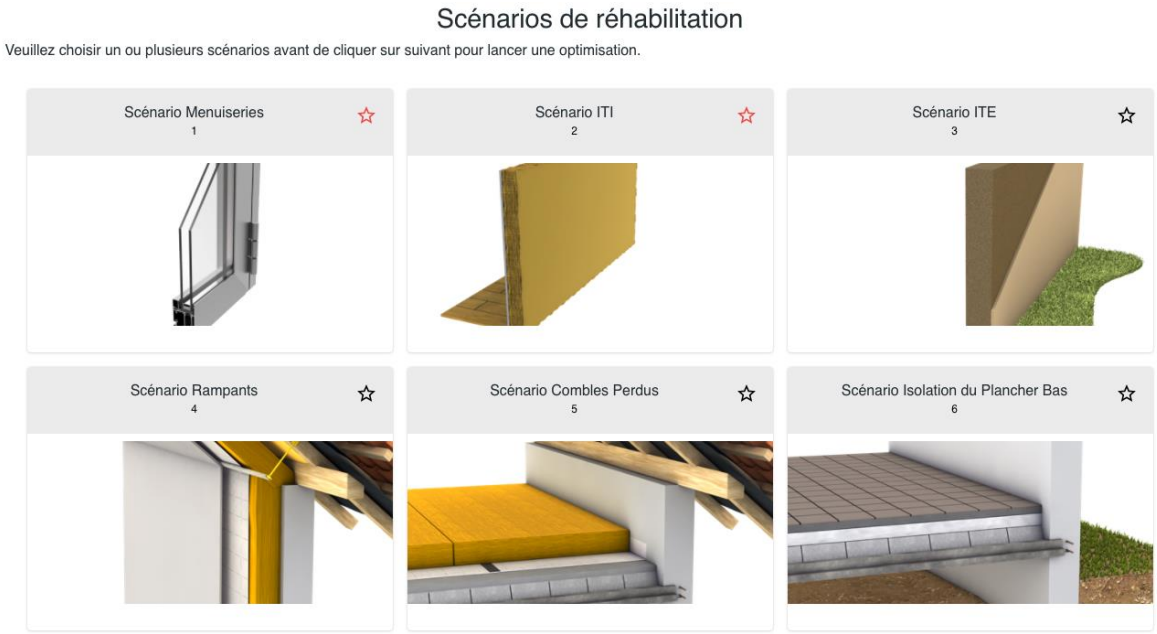

Figure 17 Interface permettant de combiner les choix des scénarios.

9. Interface de simulations

L'utilisateur peut monitorer l'ensemble de ses optimisations. Une barre de progression permet de suivre l'état d'avancement d'une optimisation. Lorsque celle-ci est terminée, une jauge apparait avec en indiquant la meilleure étiquette énergétique atteinte. L'ensemble des travaux est géré par un gestionnaire de tâche (Celery). Le temps d'une optimisation varie selon le scénario étudié et peut varier entre 1h à 4h de calcul. Pour visualiser l'ensemble des résultats, l'utilisateur sélectionne une optimisation dans le tableau et appuie sur le bouton « Suivant ».

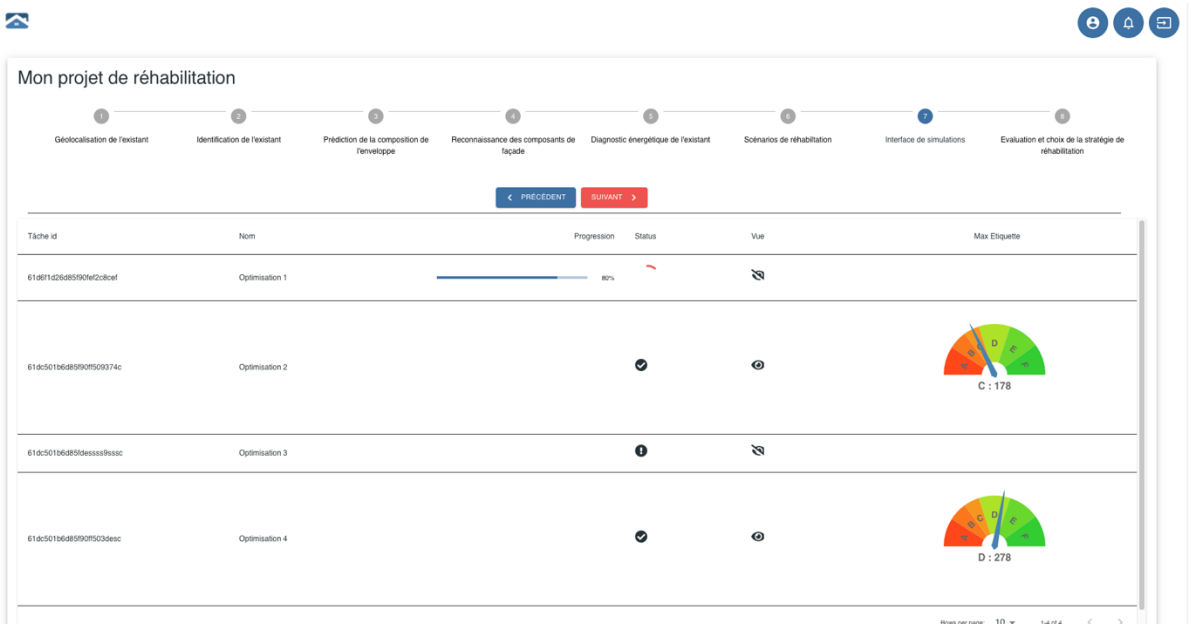

Figure 18 Interface de « monitoring » des différentes optimisations.

Tableau 9 Avantages et inconvénients de l'interface de simulations.

Avantages	Inconvénients
L'utilisateur peut lancer plusieurs optimisations et quitter la plateforme. Il pourra se reconnecter pour évaluer l'avancement des différents calculs	Le couplage avec l'outil RENOIR n'est pas effectif puisqu'il est impossible de gérer la volumétrie de calcul.

10. Évaluation et choix de la stratégie de réhabilitation

L'ensemble des résultats d'une optimisation est digéré dans une interface de visualisations interactives avec la suite Tableau Software. La Figure 19 présente une interface de restitution des résultats d'une optimisation multicritères économique-performance de l'enveloppe. Le graphique principal présente le coefficient de déperdition d'un bâtiment (Ubat) en fonction du coût d'investissement. Le Ubat est le coefficient moyen de déperdition à travers les parois d'un bâtiment. Il permet de pouvoir comparer plusieurs bâtiments du point de vue de leur isolation thermique. Chaque point coloré sur le graphique représente un bâtiment. Les solutions optimales se situent pour des Ubat faibles et des coûts faibles. L'utilisateur peut analyser les solutions en modifiant la couleur et la forme des points en fonction du type d'isolation utilisé sur le plancher bas, des parois opaques et des combles et du type de menuiseries.

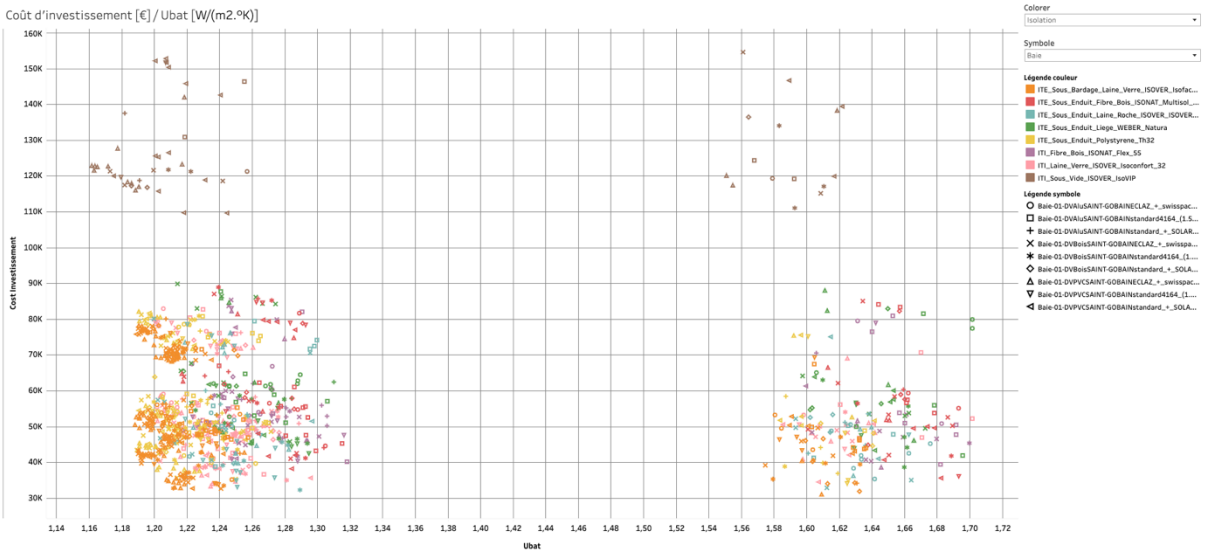

Figure 19 Interface Tableau Software permettant de visualiser les résultats.

Tableau 10 Avantages et inconvénients de la méthode d'évaluation des scénarios de réhabilitation.

Avantages	Inconvénients
Tableau Software aide à mieux visualiser, comprendre et interpréter les données et offre une véritable opportunité pour les utilisateurs à pouvoir répondre à leurs questions sur le choix de scénario pour leur future réhabilitation.	L'analyse et l'interprétation des résultats avec Tableau Software demande un certain niveau de compréhension du domaine d'expertise de la thermique du bâtiment.

11. Difficultés de mise en production

À la suite du développement de la première version beta, lors de la mise en production, un certain nombre de problèmes ont été mis en exergue, dont voici une liste exhaustive :

- **L'accessibilité** : Tous les services du backend (API, IA, etc…) sont hébergés sur un serveur interne à l'entreprise, il était impératif d'ouvrir un port vers l'extérieur. Dans le cadre de la démarche de sécurité de l'entreprise, l'ouverture du port du serveur n'a pas pu être réalisée.
- **La gestion de tâches des services** : La plateforme étant multi-utilisateurs et multi-projets, il était nécessaire de créer un gestionnaire de tâches avec Celery. Le gestionnaire de tâches à était réalisé cependant celui-ci n'est pas interopérable à l'heure actuelle avec le module de calcul de la méthode RENOIR. En effet, le module de calcul RENOIR a dû être refondu de manière que celui-ci soit interopérable avec un service multi-instances.
- **La disponibilité** : Une réécriture de l'API côté backend a dû être réaliser pour que les flux soient asynchrones. Une API asynchrone est une API recevant, par exemple, la commande d'un client, client qui n'attend pas la réponse de celle-ci dans l'immédiat. Le seul retour mis à disposition par l'API, dans un premier temps, est la prise en compte de la demande (avec un message de type « vous avez bien votre ticket, merci d'attendre »).
- **La maintenance** : Une telle plateforme nécessite un service de maintenance non définie dans le volet.
- **Le dimensionnement** : La question du dimensionnement est sans doute la plus difficile qui puisse se poser dans la mise en œuvre et le fonctionnement d'une telle plateforme. Les capacités de stockage, le transfert de gros fichiers et les ressources de calcul ne peuvent pas être assurés par l'infrastructure de l'entreprise.

- **La sécurité** : D'un point de vue de la Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD), ***« le responsable du traitement est tenu de prendre toutes précautions utiles, au regard de la nature des données et des risques présentés par le traitement, pour préserver la sécurité des données et, notamment, empêcher qu'elles soient déformées, endommagées, ou que des tiers non autorisés y aient accès »*** [2] Ne pouvant pas respecter à l'heure actuelle toutes les conditions relevant du RGPD, la mise en production n'a pas pu être réalisée.

12. Conclusion

Ce document présente la plateforme SAAS qui est le fil conducteur des travaux menés au travers de la tâche données exploitables, la tâche diagnostic énergétique automatisé des bâtiments existants et gestion des optimisations (calculs et visualisations) du volet 2.

[2] ***Article 34 de la loi informatique et libertés***