

RAPPORT DE STAGE

SUJET : RENATURATION DES ESPACES DES COURS VERS LA
RESILIENCE ECOLOGIQUE (RECRE)



Réalisé par :

Mamadou BA

Master 1 GLET

Sous la direction de :

Mme Sophie BLANC

Responsable de stage

Et de

Mr Rachid NEDJAI

Responsable pédagogique

Lieu : TRIBU Paris, 162 164 rue de Crimée, Impasse Emelie 75019

PARIS FRANCE

Période de stage : du 11/04/2022 au 31/07/2022

Année universitaire 2021/2022

« L'avenir n'est pas ce qui va arriver mais ce que nous allons faire »

Henri BERGSON

Remerciements

Il me paraît indispensable avant de commencer ce rapport de remercier Mme Edith AKIKI et Mme Sophie BLANC qui m'ont accepté de réaliser ce stage au sein de TRIBU.

Je tiens à formuler de chaleureux remerciements à ma responsable de stage Mme Sophie BLANC, qui a eu la patience, la disponibilité, l'écoute, et la pédagogie pour m'accompagner durant toute la période de mon stage. Sa rigueur et sa disponibilité ont fait de ce stage une expérience forte et enrichissante.

Je tiens à remercier Augustin EPELLEY, Zélie CHOMEZ, Kevin MAIQUES, Eline SALOU pour accompagnements, recommandations, coups de main pour la réalisation des tâches.

J'adresse mes remerciements aussi à toute l'équipe de TRIBU Paris avec qui j'ai travaillé au quotidien, Ronaldyne, Mélanie, Hélène, Eline, Maxime, Valentin, Laureline, Hind, Iliana, Melissa, Lucile, Simon, Pierre, Solenn pour leur bienveillance et leur disponibilité.

Table des matières

Remerciements	2
Table des matières	3
Table des illustrations.....	4
Résumé	5
Abstract	6
Contexte et objectif du stage :	7
INTRODUCTION.....	8
a) Présentation de l'entreprise	8
b) Les différentes types de missions	9
b)-1) Aménagement.....	9
b)-2) Assistance à la Maitrise d'Ouvrage	9
b)-3) Maitrise d'Œuvre.....	10
c) Introduction générale.....	10
d) Localisation des écoles du projet.....	11
.....	11
I-) Prise de contact avec les taches déjà réalisées.....	13
a) Lecture de la documentation existante	13
b) Exploration de plugins QGIS	15
II-) Numérisation des typologies de surfaces et cartographie des indicateurs ou grandeurs choisi(e)s	26
a) Numérisation des typologies de surfaces.....	26
b) Cartographie des indicateurs par typologie de surface	30
c) Cartographie de la canopée d'arbres	32
III) Intégration des versions des architectes et cartographie interactive.....	40
a) Intégration des versions écosystémiques des architectes	40
b) Cartographie interactive avec Lizmap.....	43
c) Difficultés rencontrées.....	47
Conclusion.....	48
Bibliographie et webographie.....	49

Table des illustrations

Figure 1 : Carte de Localisation des écoles du projet.....	11
Figure 2 : Carte de l'ensemble des éléments tenus en compte dans la zone tampon de 500m.....	14
Figure 3 : l'interface Outil Excel.....	15
Figure 4 : Icône du plugin ICEtool.....	16
Figure 5 : Fenêtre de création de projet ICEtool	17
Figure 6 : Fenêtre de création des rasters dans ICEtool	18
Figure 7 : Fenêtre de création des rasters dans ICEtool	18
Figure 8 : Fenêtre de création des ombrages dans ICEtool	19
Figure 9 : Ombrage du 21 Mars	20
Figure 10 : Figure 9 :Ombrage du 21 Juin	21
Figure 11 : Ombrage du 21 Décembre	22
Figure 12 : Fenêtre pour calculer les températures pour une journée dans ICEtool.....	23
Figure 13 : Fenêtre pour calculer les températures pour une journée dans ICEtool.....	23
Figure 14 : la couche shapefile de points de la température du Collège Gustave Flaubert	24
Figure 15 : Carte des îlots de chaleur de l'école élémentaire de Maurice d'Ocagne du 21 juillet	25
Figure 16 : Carte d'occupation du collège Pierre Mendès	26
Figure 17 : Tableau des indicateurs et valeurs pour chaque typologies de surface	28
Figure 18 : Sémiologie du CBS.....	29
Figure 19 : Sémiologie du rafraichissement urbain.....	29
Figure 20 : Sémiologie de la perméabilité.....	29
Figure 21 : Carte du Coefficient de Biotope par Surface de Maurice d'Ocagne	30
Figure 22: Carte de la Perméabilité par typologie de surface de l'école Maurice d'Ocagne	31
Figure 23: Carte du Rafraichissement urbain par typologie de surface de l'école Maurice d'Ocagne ..	32
Figure 24: L'interface de l'outil Excell pour calculer la surface des canopée des scénarios.	33
Figure 25: Code VBA pour le calcul des scénarios.....	34
Figure 26: Carte de la surface de canopée des arbres existants de l'école Maurice d'Ocagne.....	35
Figure 27: Scénarios de l'évolution de la surface de canopée de l'école Maurice d'Ocagne.....	36
Figure 28: Carte de la surface de canopée des arbres existants de l'école La Saida	37
Figure 29: Carte des typologies de surface de l'école La Saida.....	38
Figure 30: Scénarios d'évolution de la surface de canopée de l'école La Saida	39
Figure 31: schéma DWG de la version écosystémique du collège Georges Brassens sur QGIS	41
Figure 32: Version écosystémique Georges Brassens	42
Figure 33: Version écosystémique Les Récollets.....	43
Figure 34: Les Groupes du Projet QGIS	44
Figure 35: Interface de l'extension Lizmap	45
Figure 36: Interface pour créer un répertoire	46
Figure 37: Cartographie interactive avec Lizmap	46

Résumé

Le projet Renaturation des Espaces des Cours vers le Résilience Ecologique (RECRE) s'inscrit dans cette dynamique d'appui de projet « cours oasis » de la ville de Paris qui consiste à réaménager les cours d'écoles pour endiguer la surchauffe urbaine tout en mettant en place des îlots de fraîcheur et le développement de nouveaux lieux publics. Dans ce sillage RECRE vient comme complément du projet de recherche européen existant financé par le FEDER (Fond Européen de Développement Régional) centré sur la lutte contre les îlots de chaleur et la gouvernance de l'opération, réunissant le LIEPP (Laboratoire Interdisciplinaire d'Evaluation des Politiques Publiques), de Science Po et le CAUE 7. Le projet RECRE s'articule aux questions de la végétalisation des cours comme complémentaire le projet FEDER.

C'est une équipe coordonnée par le bureau d'étude TRIBU et constituée par le CRH-LAVUE UMR 7218 de l'ENSAPVS (qui traite des aspects paysagers, sociologiques et architecturaux) et l'agence d'architecture XLGD (spécialiste de la végétation du bâti), le laboratoire CESCO du Muséum d'Histoire Naturelle (fonctionnements écologiques et la végétalisation) et le bureau d'études TRIBU (spécialisé sur l'ingénierie environnementale).

L'apport de la Géomatique et des Systèmes d'Information Géographique dans ce projet consiste la mise en place d'un interface d'outil SIG, un cartographie de l'état actuel des dix (10) cours d'écoles, la cartographie des indicateurs des éléments des cours, une cartographie des scénarios d'aménagement, une automatisation d'indicateurs cartographiques avec une approche T0 -Tn, le tout de cette cartographie sous forme d'une cartographie interactive synchronisant avec les cartographies existantes en région Ile de France.

Abstract

The project Renaturation of the Spaces of the Courts towards the Ecological Resilience (RECRE) is part of the dynamic support of the project " oasis course" of the city of Paris which consists in redeveloping schoolyards to curb urban overheating while establishing islands of coolness and the development of new public places. In this wake, RECRE complements the existing European research project financed by the ERDF (European Regional Development Fund) focused on the fight against heat islands and the governance of the operation, bringing together the LIEPP (Interdisciplinary Laboratory for the Evaluation of Public Policies), Science Po and the CAUE 7. The RECRE project is articulated to the questions of the vegetation of the courtyards as complementary to the ERDF project.

It is a team coordinated by the TRIBU consultancy and made up of the CRH-LAVUE UMR 7218 of ENSAPVS (which deals with landscape, sociological and architectural aspects) and the XLGD architecture agency (specialist in the vegetation of buildings), the CESCO laboratory of the Natural History Museum (ecological functioning and vegetation) and the TRIBU consultancy (specialized in environmental engineering).

The contribution of Geomatics and Geographic Information Systems in this project consists of the implementation of a GIS tool interface, a mapping of the current state of the ten (10) schoolyards, the mapping of the indicators of the elements of the courses, a mapping of the development scenarios, an automation of cartographic indicators with an approach T0 -Tn, the whole of this mapping in the form of an interactive mapping synchronizing with the existing cartographies in the Ile of France region.

Contexte et objectif du stage :

La ville de Paris, par le biais de sa Stratégie de Résilience, a développé une conduite d'adaptation au changement climatique, sujet au cœur des préoccupations métropolitaines contemporaines. Cette stratégie intègre une réflexion sur la restructuration de cours d'école existantes en cours d'école « oasis », débituminées et ombragées, afin de lutter contre la surchauffe urbaine, garantir un rafraîchissement des surfaces plus rapide en été et faire baisser les températures nocturnes élevées en période estivale. Le projet de recherche R.E.C.R.E. (Renaturation des Espaces des Cours vers la Résilience Ecologique) s'inscrit en parallèle de cette démarche.

L'étude RECRE se propose d'imaginer des scénarios de réhabilitation potentielle d'une dizaine de cours parisiennes par le biais de solutions fondées sur la nature et le vivant, et d'étudier l'impact de ces solutions sur l'écosystème parisien, sur les usagers de ces cours (élève et équipes pédagogiques), ainsi que sur les riverains des établissements. On appelle solutions basées sur la nature "les actions visant à protéger, à gérer de manière durable et à restaurer des écosystèmes naturels ou modifiés pour relever directement les enjeux de société de manière efficace et adaptative, tout en assurant le bien-être humain et en produisant des bénéfices pour la biodiversité" (définition donnée par l'Union internationale pour la conservation de la nature). Il s'agit donc d'évaluer dans quelles mesures l'introduction du végétal dans les cours d'école parisiennes peut contribuer à l'amélioration du confort et de la qualité d'usage de ces cours, sans en entraver la gestion et l'exploitation, et ainsi, permettre de reconnaître ces espaces comme de véritables relais entre les écosystèmes (trames vertes, bleues, brunes notamment) Parisiens. L'évaluation de ces espaces est réalisée par un faisceau d'indicateurs quantitatifs et qualitatifs, permettant d'objectiver les services écosystémiques rendus : rafraîchissement, pédagogie, protection aux nuisances, gestion de l'eau, contribution au cycle de la matière, développement de la biodiversité, etc. L'aboutissement du projet consiste en la production d'un outil d'aide à la décision et à la conception en matière de création d'espaces verts en milieu urbain et dense. A destination des maîtres d'ouvrage publics ou agents territoriaux, mais également des concepteurs des projets (sections locales d'architecture, cabinets d'architectes ou de paysagistes), cet outil comprend un volet de modélisation graphique et un volet de modélisation informatique. Il est également recherché la mesure des services à court, moyen et long terme.

INTRODUCTION

a) Présentation de l'entreprise

TRIBU (Technique, Recherche et Innovation pour le Bâtiment Urbain) est un bureau d'étude pionnier du développement durable appliqué aux bâtiments, aux projets urbains et de la conception éco-responsable. C'est une structure qui s'inscrit dans cette démarche d'innovation et de volontaire tout en respectant les exigences environnementales.

Son existence dans le domaine depuis 1990 lui son statut de notoriété et de solide base et d'expérience en assistance à la maîtrise d'ouvrage ou en maîtrise d'œuvre dans le domaine du développement durable. Il regroupe des ingénieures, des architectes, des urbanistes, des généralistes ou spécialistes du bâtiment des différentes thématiques concernées (climatique, énergétique, thermique, éclairage, ventilation (naturelle), le rafraîchissement naturel des matériaux, déchets...).

Ses références concernent plus de 200 opérations de toutes tailles et de toutes natures, en neuf et en réhabilitation, en bâtiment ou en aménagement.

Dans un contexte de respect des enjeux de l'environnement, TRIBU se distingue de par sa réputation en tant que bureau d'études pointilleux en matière environnementale, énergétique et bioclimatique.

Par ailleurs, TRIBU est un SCOP (Société Coopérative et Participative) composée majoritairement de coopérateurs salariés. Ce choix de forme de société a été guidé par son adhésion aux valeurs coopérative fondamentales : la prééminence de la personne humaine, la démocratie, la solidarité et le partage.

TRIBU Paris est une équipe composée d'une trentaine d'employés :

Co-gérante :

Edith AKIKI

Chefs de Projets
Bâtiment :

Hind BEN BARKA
Laureline LAUTIER
Hélène MICHELSON
Eline SALOU
Emilie SOARES

Chefs de Projet
Urbanisme :

Francesca
BARBERA
Sophie BLANC
Alissia
LAVIGNE

Simulation-
optimisation

Maxime Joly
Kévin MAIQUES

Chargée de
suivi de
chantier :

Alice
DUVIVIER

Administration :

Ronaldyne
PHILLIPE

Documentation :

Mélanie
LANCELEVEE

b) Les différentes types de missions

A TRIBU, les missions sont divisées en 3 grandes parties : Aménagement, Assistance à la Maitrise d'Ouvrage et Maitrise d'œuvre.

b)-1) Aménagement

le bureau accompagne l'évolution du projet urbain sur l'ensemble des préoccupations de développement durable (cohésions sociales et solidarités, cohésions territoriales et déplacements, qualités des ambiances, biodiversité, sols, nappes énergie, eau, déchets, matériaux... et ceci à l'échelle du territoire, aux côtés de la collectivité ou de l'aménageur, ou au sein de l'équipe d'urbanistes.

b)-2) Assistance à la Maitrise d'Ouvrage

c'est une mission qui consiste à accompagner le maitre d'ouvrage dans le choix d'une stratégie de développement durable ambitieuse et adaptée au site , au programme et au budget de l'opération après avoir effectué une analyse environnementale et de développement durable du site. La mise en place d'un programme qui consiste comme référentiel spécifique à l'opération

sur toute la durée. Le suivi-évaluation du comportement réel du bâtiment, à l'issue de l'année de parfait achèvement, fait partie des missions d'AMO

b)-3) Maitrise d'Œuvre

TRIBU assure toutes les missions complémentaires liées à l'approche de développement durable et qui ne rentrent pas, malheureusement, dans les missions classiques de maîtrise d'œuvre : évaluation des consommations énergétiques (et autres) dans les phases amont (et pas seulement lors du calcul réglementaire en phase PRO), évaluation des niveaux d'éclairage naturel, simulations dynamiques de confort d'été, prise en compte des différents critères liés au développement durable dans le choix des techniques et des matériaux, préparation du chantier à faible nuisance.

c) Introduction générale

Le projet de recherche RECRE est divisé six (06) grandes tâches pour sa réalisation :

Tâche 1 : benchmark et état de l'art sur l'évaluation des services écosystémiques avec trois thèmes : service écosystémiques et modélisation, écologie et paysage et pédagogie et nature urbain.

Tâche 2 : définition des indicateurs de diagnostics et analyse croisée interdisciplinaire permettant la caractérisation du contexte et de la problématisation des 10 sites en projet par la définition d'un niveau de résilience « état zéro » (avant intervention).

Tâche 3 : Elaboration d'un modèle d'évaluation des services écosystémiques adapté aux cours d'écoles en milieu urbain : modélisation informatique des indicateurs et de leur agrégation, modélisation graphique qui vise à spécialiser les indicateurs retenus pour l'évaluation des services écosystémiques.

Tâche 4 : Elaboration de scénarios d'aménagement sur les 10 sites, modélisation des scénarios. L'état des 10 cours étudiées, en leur l'état initial (état 0), serviront comme base l'établissement d'un scénario 1 d'évolution. En complément de ce scénario 1, et selon les sites d'autres scénarios d'aménagement seront développés de façon à illustrer d'autres hypothèses de nature à produire des résultats contrastés dans l'évaluation des services écosystémiques.

Tâche 5 : Evaluation des scénarios d'aménagement à court, moyen et long terme

Tâche 6 : Synthèse : Rédaction du rapport de synthèse conception d'un outil guide et outil aide à la décision pour aménager les espaces verts urbains.

L'objectif de la Géomatique et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) consiste dans ce projet pour sa dernière phase l'établissement d'un d'interface d'un outil SIG et la consolidation éventuelle de liens avec l'interface (Excel et AutoCad), une cartographie interactive des cours d'école de leur existant et des scénarios d'aménagement, automatisation d'indicateurs cartographiques (et l'intégration éventuelle d'une approche temporelle $T_0 - T_n$), une synchronisation avec les cartographies existantes en Ile de France.

d) Localisation des écoles du projet

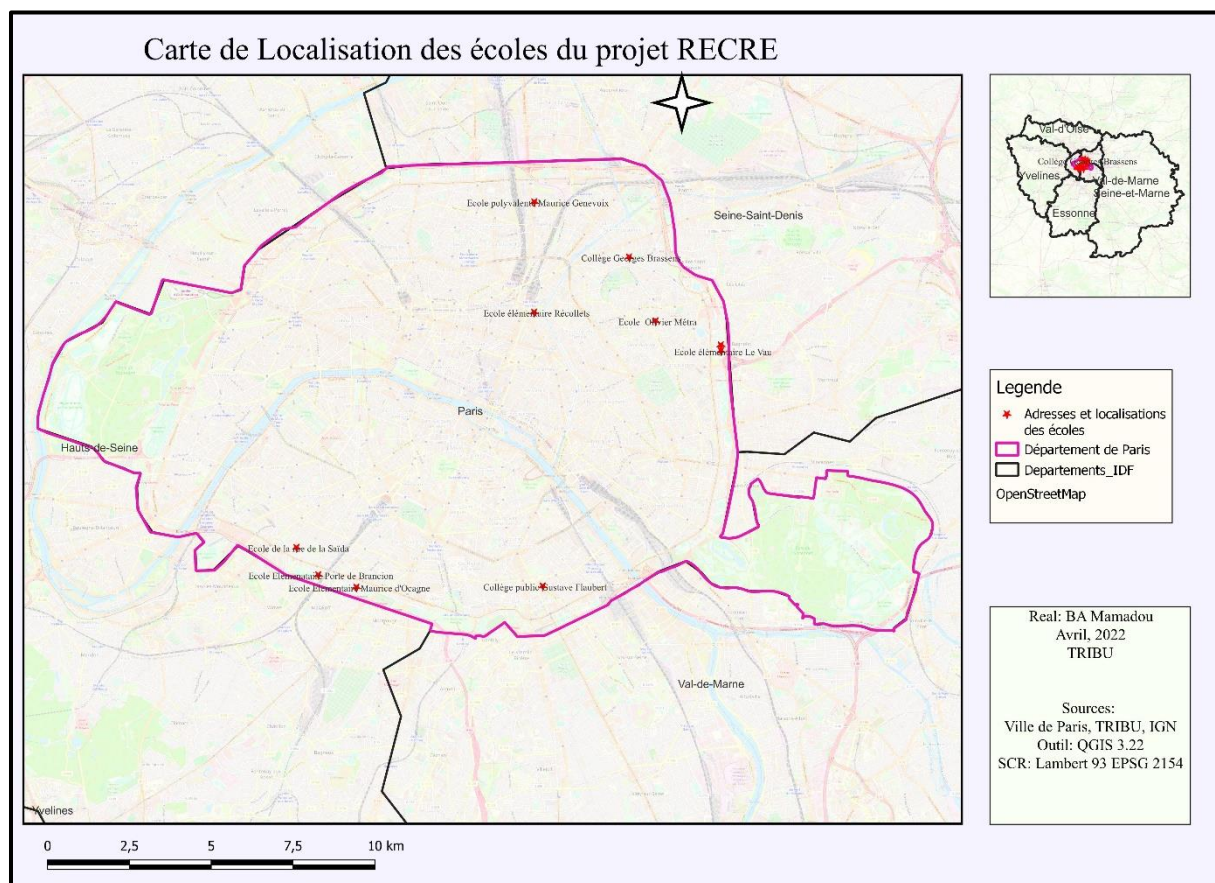


Figure 1 : Carte de Localisation des écoles du projet



Les écoles choisies pour la réalisation de l'étude du projet RECRE sont au nombre de dix (10) :

- Ecole élémentaire Maurice d'Ocagne, 7 Rue Maurice d'Ocagne 75014 Paris
- Ecole Polyvalente Maurice Genevoix, 3 Rue Maurice Genevoix 75018 Paris
- Ecole élémentaire les Récollets, 19 Passage des Récollets 75010 Paris
- Ecole élémentaire le Vau, 20 Rue Le Vau 75020 Paris
- Ecole élémentaire la Saida, 20 Rue de la Saida 75015 Paris
- Ecole élémentaire Olivier Métra 29 Rue Olivier Métra 75020 Paris
- Ecole élémentaire Porte de Brancion, 5 Avenue de la Porte de Brancion 75015 Paris
- Collège Georges Brassens, 4 Rue Erik Satie 75019 Paris
- Collège Public Gustave Flaubert, 76 Avenue d'Ivry 75013 Paris
- Collège Pierre Mendes, 24 Rue Le Vau 75020 Paris

I-) Prise de contact avec les tâches déjà réalisées

a) Lecture de la documentation existante

L'étape première de mon stage consiste à lire la documentation des tâches et rapports intermédiaires déjà réalisées depuis le début du projet jusqu'ici afin de connaître ce qui est déjà fait sur le projet en termes de diagnostic de terrain et de production scientifique, avoir un aperçu de l'état des lieux du projet.

C'est dans le but de prendre connaissance des différentes étapes et tâches qui ont été mené et réalisé depuis le début du projet. Cette documentation me permet non seulement de connaître l'état des lieux du projet mais aussi de me familiariser avec un nouveau langage et de nouvelles notions du jargon écologique urbain.

A travers un état d'art d'une littérature scientifique et un benchmark, une démarche et une approche écosystémique sont mises en place dans le cadre d'intervention dans les milieux scolaires et autour d'une échelle d'interaction urbaine avec les cours d'écoles. Le rôle de la « nature » dans les démarches d'apprentissage (les rapports entre le végétal les individus et équipes éducatives ainsi que les espaces extérieurs).

Prendre connaissance de l'interface SIG déjà commencée qui n'était pas du tout avancée, de regarder les données existantes pouvant être cartographier, créer ou rechercher d'autres données au besoin du projet et de proposer une échelle d'intervention. Pour cette dernière j'ai proposé une zone tampon de 500 m autour de chaque école afin de prendre une part importante des éléments et actions qui peuvent avoir un impact ou interaction avec les cours d'écoles et les élèves. Ensuite de regarder l'ensembles des éléments déjà cartographiés et de faire une correction si nécessaire car toutes les données doivent être exporter en format csv pour l'outil Excel mis en place pour TRIBU pour le projet RECRE.

Exemple de l'école élémentaire les Récollets avec l'ensemble des éléments pris en compte dans la zone tampon de 500 m.

Carte des éléments pris en compte dans la zone tampon

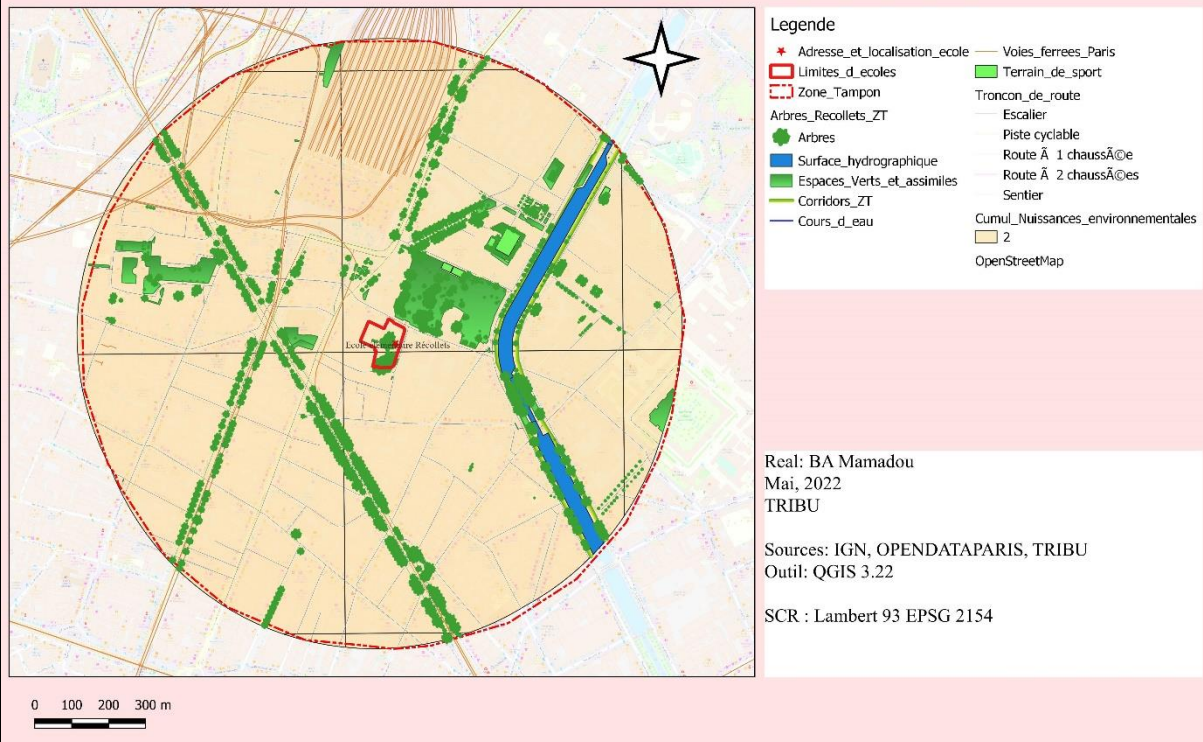


Figure 2 : Carte de l'ensemble des éléments tenus en compte dans la zone tampon de 500m

D'explorer aussi de l'outil Excel déjà réalisé par TRIBU qui permet d'évaluer et de comparer différents scénarios d'aménagement de l'espace libre d'un site de calculer et représenter graphiquement des services écosystémiques ciblés dans le projet RECRE.

Voici l'interface de l'outil Excel

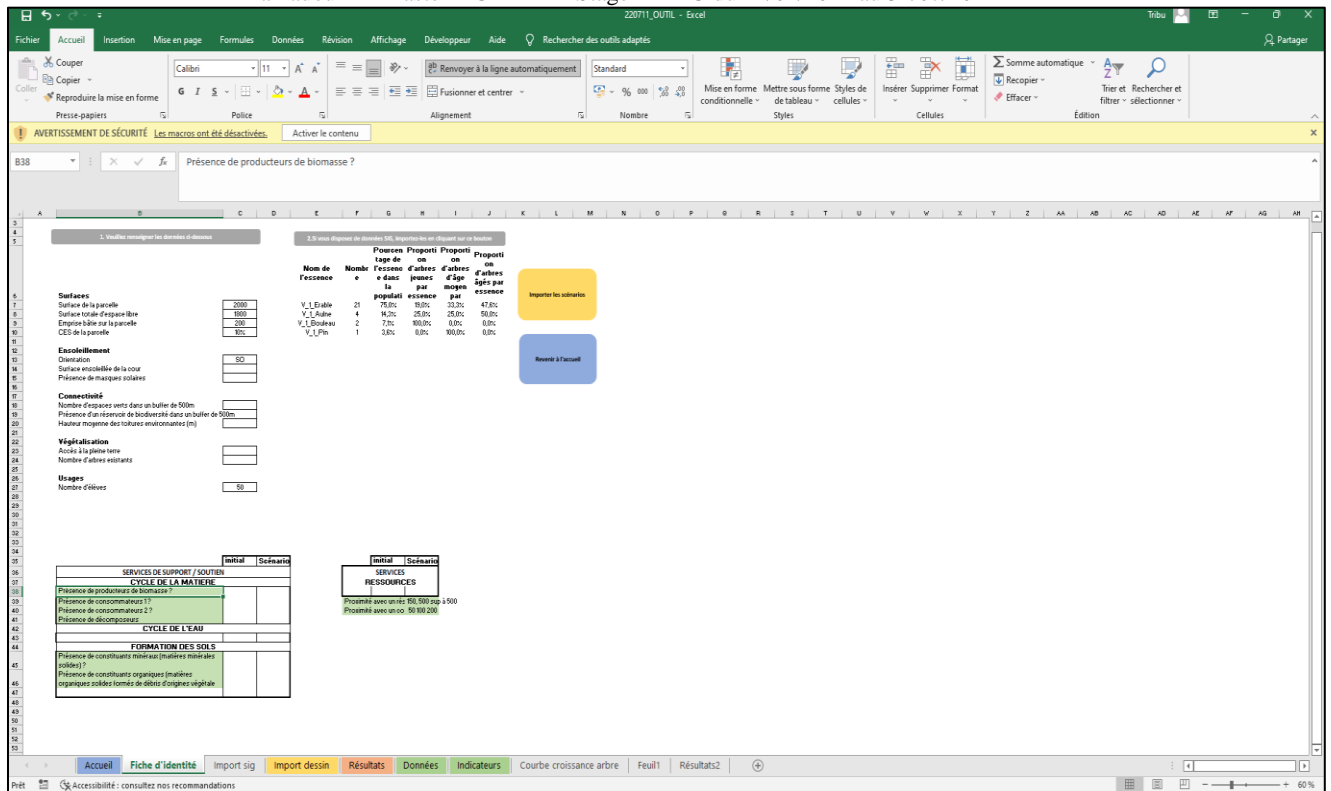


Figure 3 : l'interface Outil Excel

b) Exploration de plugins QGIS

Une recherche de plugins qui peuvent apporter quelques choses le projet m'avait aussi confié. Cette tâche consiste à faire une recherche sur QGIS et sur internet d'un ensemble de plugins (extensions) qui peuvent servir au projet selon les données qu'on a (données existantes) sans pour autant nécessaire de rechercher d'autres données. Pas mal d'extensions on était trouvé sur QGIS et sur internet qui parle de l'écologie, du végétal, des services écosystémiques. Mais beaucoup de ces plugins soit nécessite d'autres données ou soit des plugins appliqués pour d'autres fins écologiques qui ne sont pas pris en compte dans le projet ou même d'autres sont destinés à des zones ou pays hors du projet.

Un plugin a été retenu qui peut nous servir sur ce projet RECRE et c'est le plugin « ICEtool ».



Figure 4 : Icone du plugin ICEtool

C'est un plugin d'estimation des îlots de chaleur urbain, une estimation physique simple et réelle des températures du sol pour l'aide des traitements des îlots de chaleurs et la création de meilleures conceptions urbaines. Ce plugin met en évidence un choix entre végétation et les matériaux pour la réduction des îlots de chaleurs urbaines. Il intègre un générateur d'ombre UMEP, c'est un plugin issu des travaux de la procédure ICE (sociétés du groupe Egis).

A travers ce plugin on peut arriver cartographier les îlots de chaleurs de chaque cours, déterminer les ombrages des bâtiments et arbres des écoles. Pour les ombrages, on peut les avoir pour les différentes heures de la journée et quant aux îlots de chaleurs, on peut les avoir pour sur un jour donné sur toute l'étendue de l'école.

L'intérêt de cette extension s'inscrit dans ce sillage où le projet RECRE vise la renaturation des espaces des cours mais aussi la recherche du bien être des élèves et du personnel. Car avec cette extension on peut faire des comparatifs entre l'été et hiver afin de prendre des décisions

sur l'organisation et l'introduction du végétal dans l'espace scolaire et les parties dont les élèves ou le personnel occupent.

Pour utiliser l'extension, le traitement se fait en 4 étapes (on parle de Step dans l'extension).

Step 1 « create a new project » consiste à créer un nouveau projet dans lequel on définit le chemin d'enregistrement de nos fichiers qui portera les fichiers racines du projet avec quatre sous dossiers (Step 1, Step 2, Step 3 et Step 4) chacun de ces dossiers est composé de fichiers racines et un projet QGIS « ICEtool_NewProject » qui constitue notre projet QGIS de travail.

Toujours dans le Step 1, le dossier Step 1 est composé de trois (03) fichiers Excel : un fichier ETP (Evapotranspiration Potentielle) à remplir, un fichier Material_database (matériaux et

types de sols), et un fichier WaetherData (pour les températures et les radiations globales horizontales).

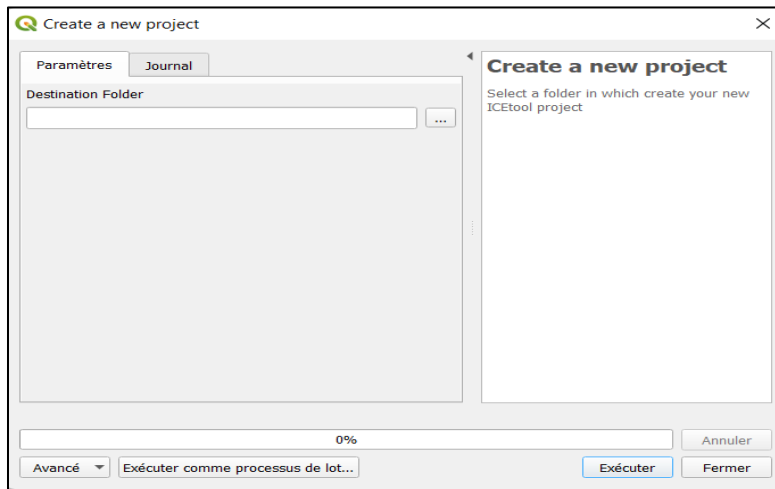


Figure 5 : Fenêtre de création de projet ICEtool

Après on ajoute notre projet « ICEtool_NewProject », on localise notre zone d'étude et on commence à numériser les éléments (arbres, bâtiments, et les surfaces) de notre zone d'étude. Donc après l'ajout de projet la première étape est une numérisation des éléments (typologies de surface).

NB on n'a pas besoin de changer le SCR si notre zone d'étude est en France. On change le SCR que si on ne travaille pas sur la France.

Step 2 est le niveau de la création des rasters des bâtiments et des arbres qui vont se stocker au niveau du dossier Step 2.

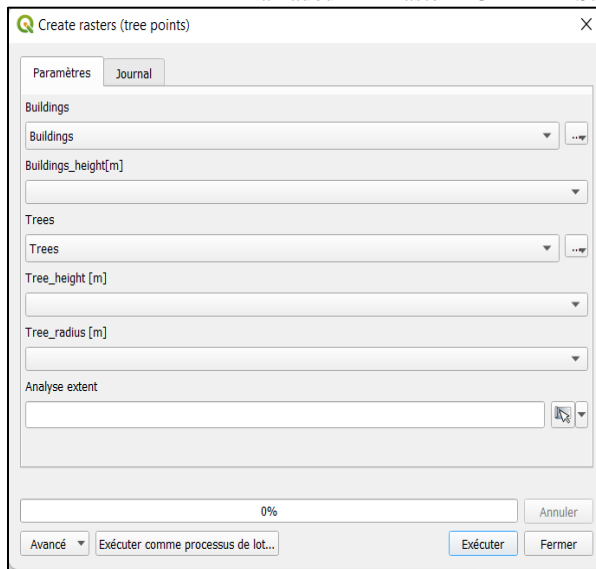


Figure 6 : Fenêtre de création des rasters dans ICEtool

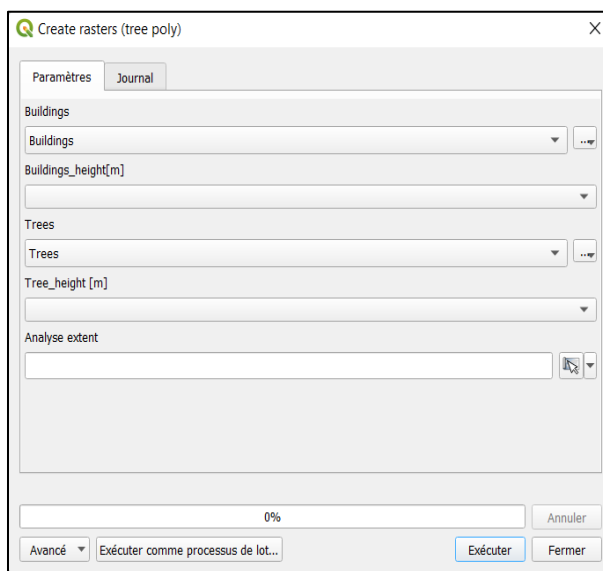


Figure 7 : Fenêtre de création des rasters dans ICEtool

Step 3 constitue la création de l'ombrage « compute sandows [UMEP] ». Dans cette partie on ajoute nos rasters arbres et bâtiments du Step 2, on choisit le jour ainsi que les intervalles de mesures d'ombrages (soit 1h ou 30mn) et la date de mesure, on le donne comme destination d'enregistrement dossier Step 3 et on exécute.

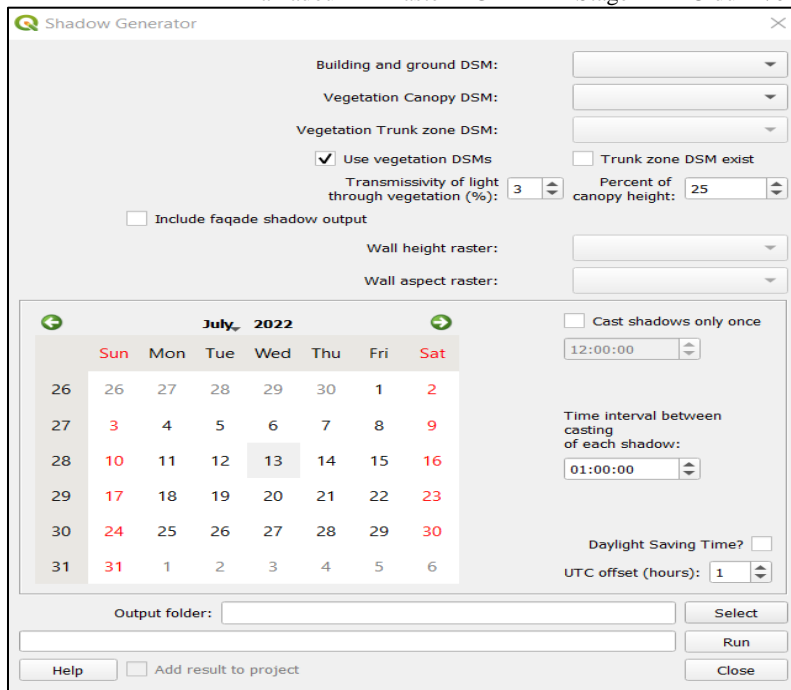


Figure 8 : Fenêtre de création des ombrages dans ICEtool

Nos rasters d'ombrages seront stockés dans le dossier Step 3 qu'on pourra ajouter après dans notre projet pour voir l'ombrage des bâtiments et arbres pour les différents intervalles choisis mais aussi pour une combinaison (la fraction) de l'ensemble des ombrages pour toute la journée selon l'intervalle choisie aussi. Dans notre étude trois dates ont été choisies : 21 juin, 21 décembre, 21 mars. Le choix de ces dates s'inscrit dans le sillage d'avoir l'ombrage en été, en hiver et pour une saison intermédiaire afin de faire la comparaison de l'ombrage existant pour distinguer les zones déjà ombrées (pleinement ou partiellement) avant toute phase de renaturation.

Voici l'exemple des 3 dates choisies pour l'école élémentaire le Vau

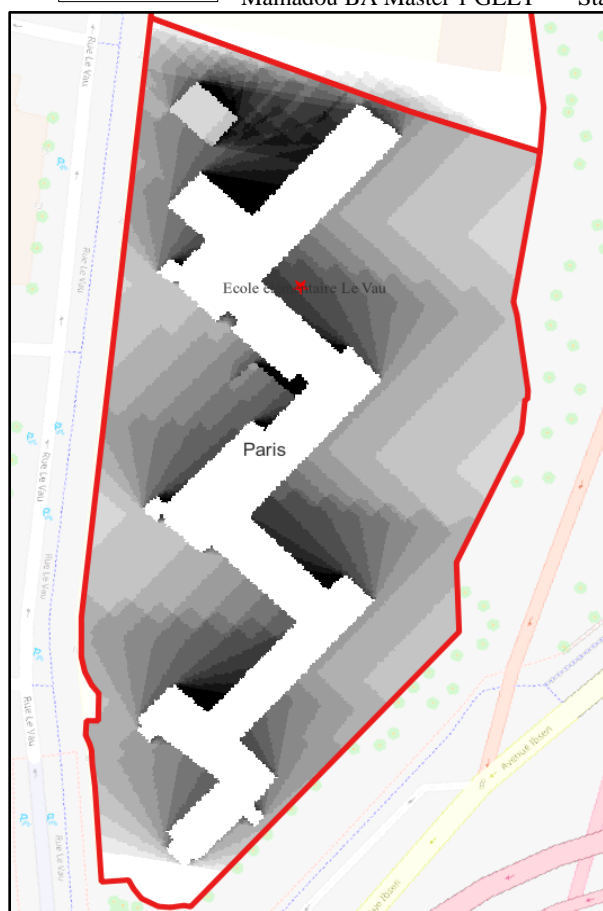


Figure 9 : Ombrage du 21 Mars

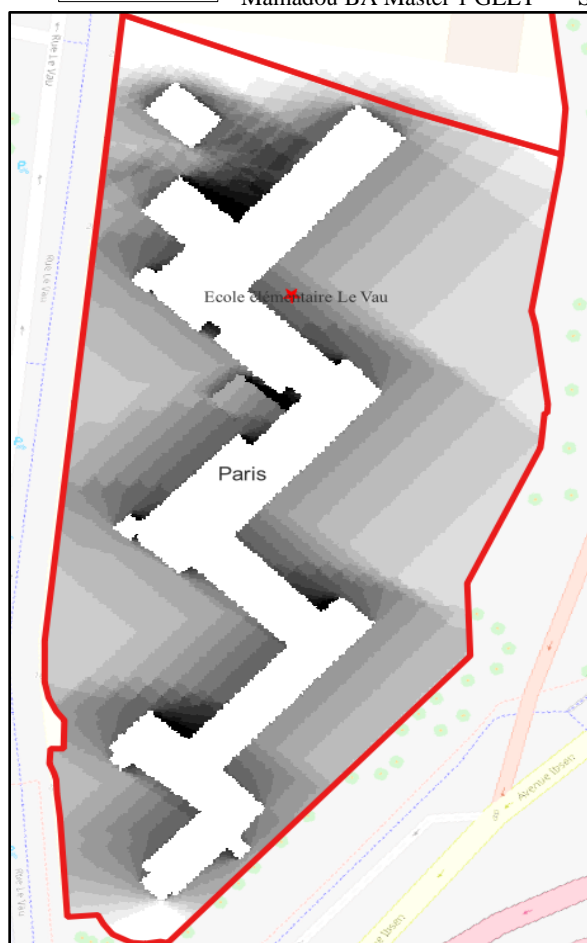


Figure 10 : Figure 9 : Ombrage du 21 Juin

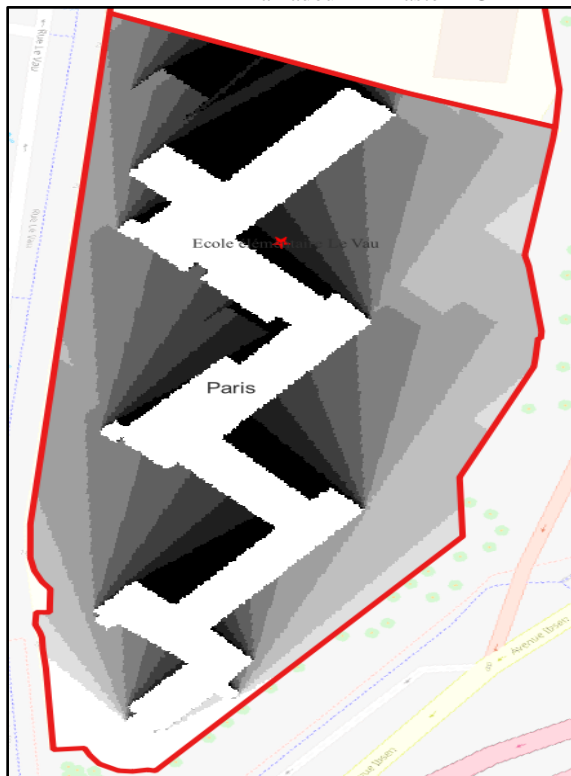


Figure 11 : Ombrage du 21 Décembre

Pour les ombrages, c'est une dégradation en plein ombrage vers un ombrage partiel : de la couleur noire foncée vers la couleur grise claire. L'ombrage tient compte la hauteur du bâtiment et des arbres. On peut dire que les zones de plein ombrage se situent au niveau des pieds des bâtiments et des arbres.

Step 4 : dans cette dernière étape, on a deux possibilités pour calculer les températures, on peut les calculer sous format « .csv où. epw » de nos données « weather data as ».

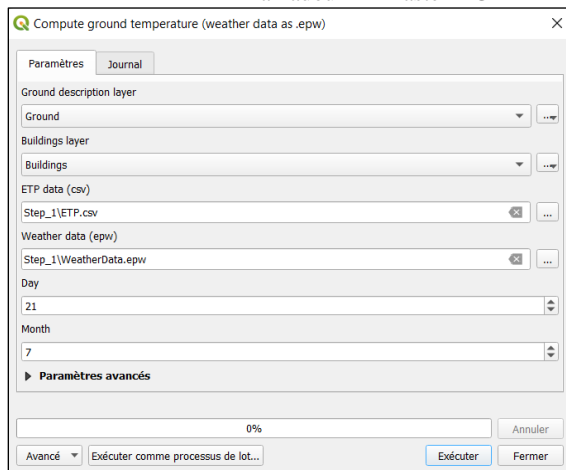


Figure 12 : Fenêtre pour calculer les températures pour une journée dans ICEtool

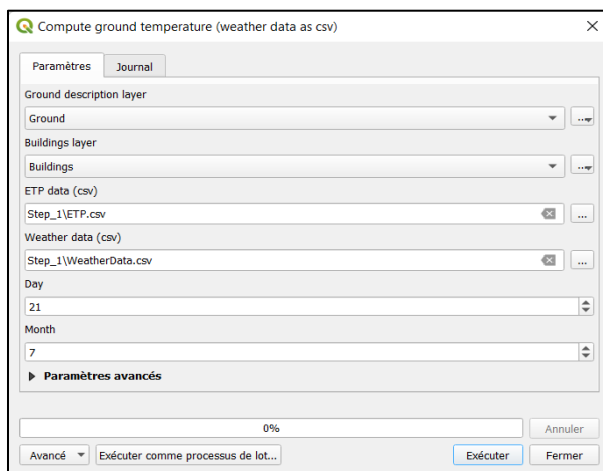


Figure 13 : Fenêtre pour calculer les températures pour une journée dans ICEtool

Dans cette partie les couches se remplissent directement selon le format choisi (.csv ou. epw), on fait le choix du jour et le mois dans lequel on veut faire l'étude. Après exécution, on a une couche shapefile se charge directement dans le projet constitué d'un ensemble de point :

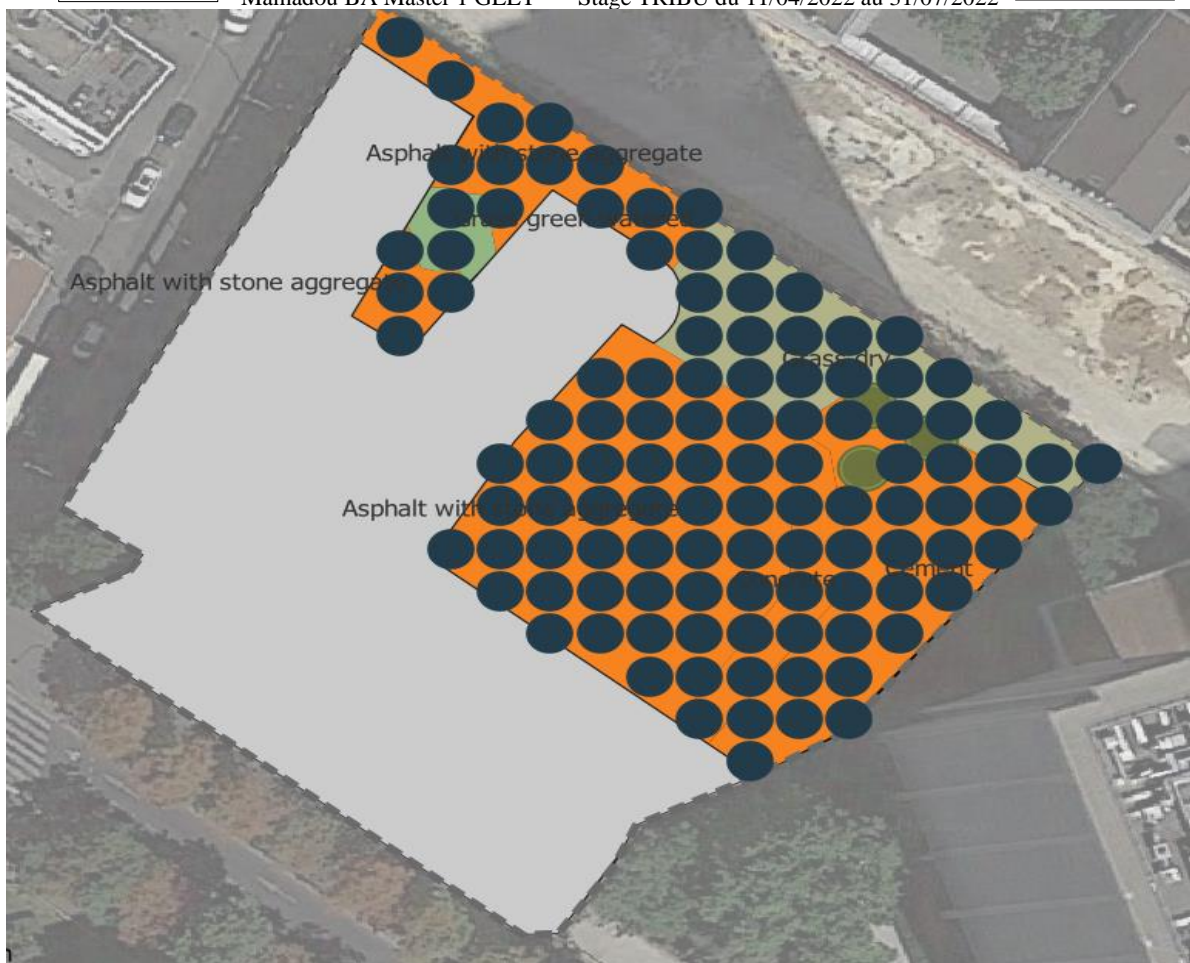


Figure 14 : la couche shapefile de points de la température du Collège Gustave Flaubert

et on a une feuille Excel « computedPoints » de cette même couche qui se trouve dans le Step 4. On passe ensuite pour faire la cartographie à travers la symbologie suivant la température (degré minimal, maximal, ou le moyen). Pour faire la cartographie des îlot des chaleurs, on va au niveau de la symbologie, on choisit la graduation et au niveau de valeur on met « to_real("max_DegC").

Voici le résultat pour l'école élémentaire de Maurice d'Ocagne pour la température de maximum de degré du 21 juillet

Carte des ilots de chaleur du 21 Juillet de l'école élémentaire de Maurice d'Ocagne

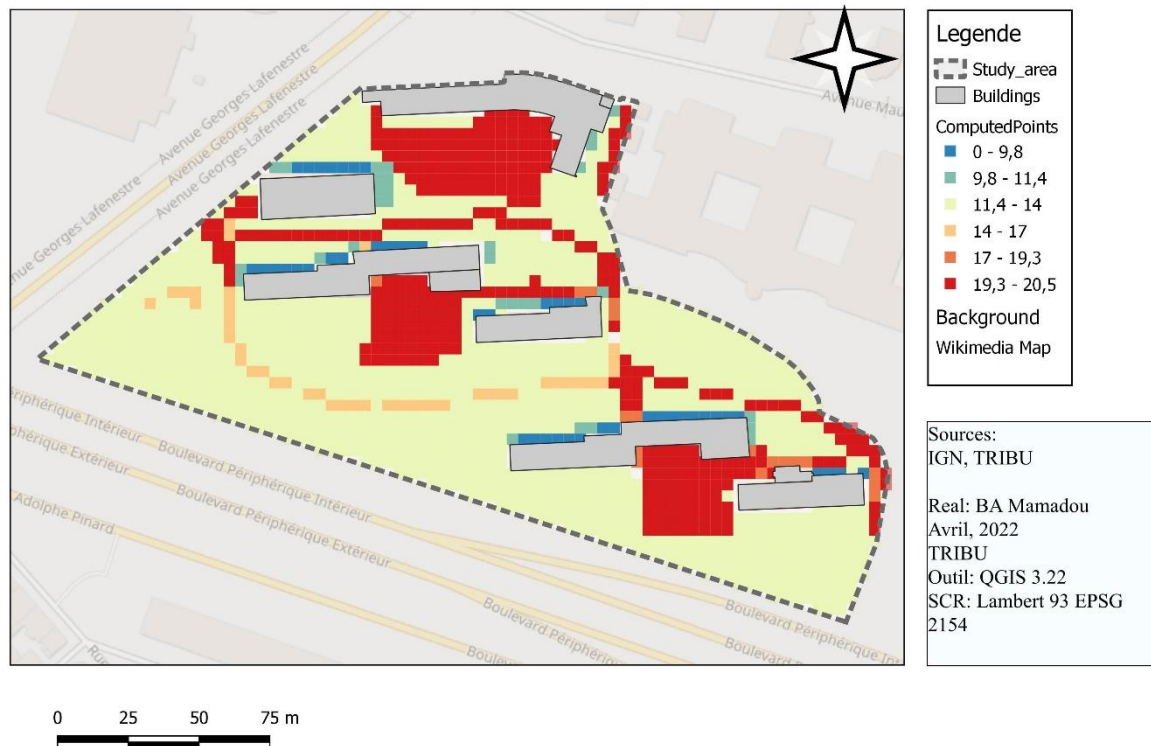


Figure 15 : Carte des ilots de chaleur de l'école élémentaire de Maurice d'Ocagne du 21 juillet

La carte montre une dominance des températures élevées dans les typologies de surface où on a le bitume, les pavés et les stabilisés et des températures moyennes dans les surfaces à dominance végétale (arbres, prairies et jardin) mais aussi dans les zones plein ombre.

Concernant les données pour réaliser cette opération, TRIBU dispose déjà les moyennes mensuelles de la température, de la radiation globales horizontales et de l'ETP de la station Montsouris de Paris de 2005 à 2020 qui nous a permis de faire cette tâche. Pour la hauteur des arbres on l'a eu dans opendata de la ville de Paris et des bâtiments on a l'a eu au niveau de geoservices de l'IGN.

II-) Numérisation des typologies de surfaces et cartographie des indicateurs ou grandeurs choisi(e)s

Dans cette partie, nous avons procédé à numériser les éléments des cours d'école (une numérisation de chaque cours d'école) en créant la base de données et d'attribuer chaque éléments sa valeur selon l'indicateur ce qui nous permettra de faire la cartographie.

a) Numérisation des typologies de surfaces

La numérisation est faite à partir des images de Google Earth, des photos issues lors des visites de terrain et des dessins des architectes. L'emplacement des arbres sont numérisés à partir de leur surface de canopée. La numérisation des typologies de surface nous permet d'avoir la superficie de chaque élément ce qui va nous permettre de calculer la valeur exacte de chaque indicateur pour chaque école.

Exemple du collège Pierre Mendès :

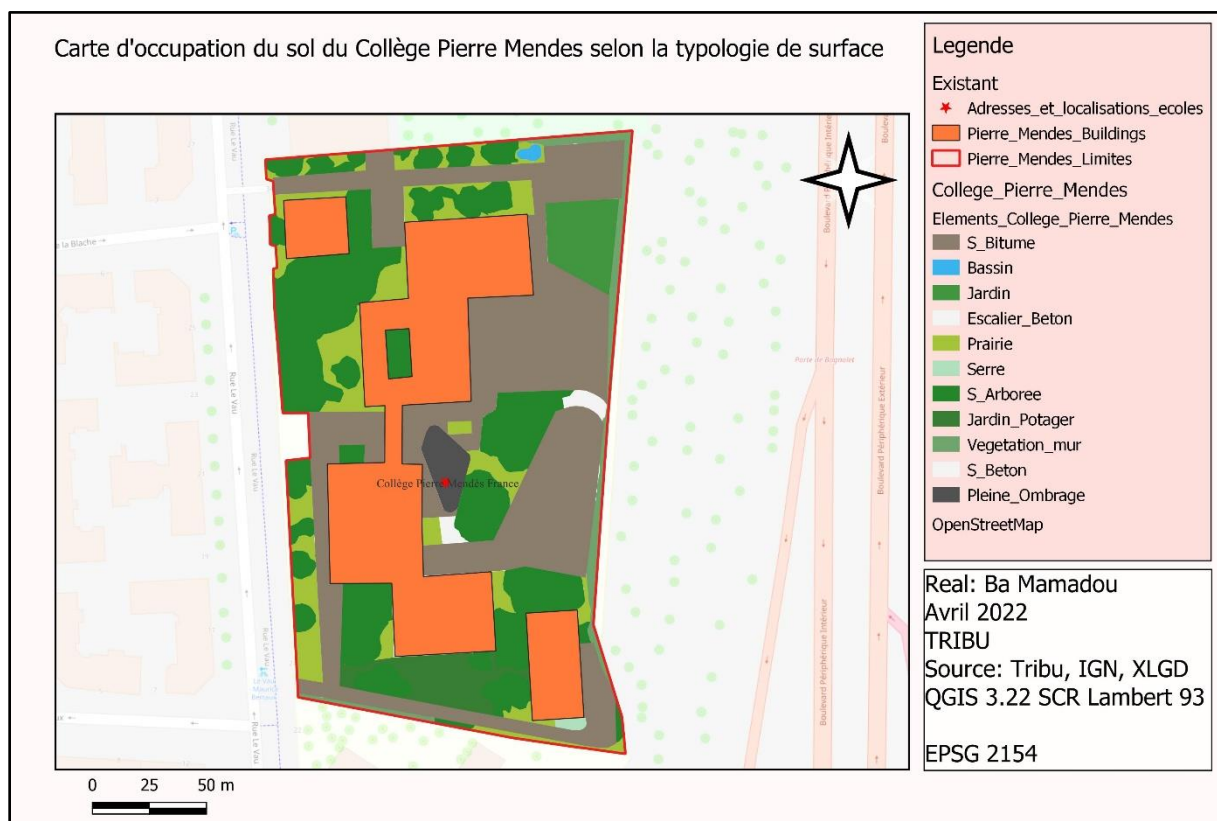


Figure 16 : Carte d'occupation du collège Pierre Mendès

Dans cette école on voit une part importante de la surface bitume et de la surface végétale (arbres, jardin, prairie, serre...).

Chaque élément (typologie de surface) dispose une valeur selon l'indicateur.

1	Nom	Type	Coefficient de rafraîchissement urbain	Coefficient de biotope par surface (CBS)	Perméabilité des sols aux eaux pluviales	Surface de canopée et d'ombrage en été
17	Enrobé grenaillé	15	0,08	0,00	0,00	0,00
18	Pavés gris à joint ciment	16	0,08	0,00	0,00	0,00
19	Enrobé bitumineux, asphalte, sol sombre	17	0,00	0,00	0,00	0,00
20	Bassin en eau paysager	18	0,80	1,00	0,80	0,00
21	Bassin minéral	19	0,80	0,00	0,00	0,00
22	Fontaine jets d'eau	20	1,00	0,00	0,00	0,00

1	Nom	Type	Coefficient de rafraîchissement urbain	Coefficient de biotope par surface (CBS)	Perméabilité des sols aux eaux pluviales	Surface de canopée et d'ombrage en été
14	Revêtement "cool" à albédo élevé	12	0,30	0,00	0,00	0,00
15	Sol sable stabilisé	13	0,20	0,00	0,00	0,00
16	Béton désactivé, béton sablé, béton balayé	14	0,15	0,00	0,00	0,00
17	Enrobé grenaillé	15	0,08	0,00	0,00	0,00
18	Pavés gris à joint ciment	16	0,08	0,00	0,00	0,00
	Enrobé bitumineux, asphalte, sol sombre	17	0,00	0,00	0,00	0,00

	Nom	Type	Coefficient de rafraîchissement urbain	Coefficient de biotope par surface (CBS)	Perméabilité des sols aux eaux pluviales	Surface de canopée et d'ombrage en été
1	Dont surface irriguée en période de sécheresse	6	0,30	1,00	0,80	0,00
8	Bassins secs, noues paysagées de gestion des eaux d'orage	7	0,50	1,00	0,80	0,00
9	Pavés drainants, ou à joint drainant	8	0,25	0,00	0,30	0,00
10	Pavés drainants, ou à joint drainant	9	0,20	0,00	0,30	0,00
11	Revêtement biosourcé, bois fragmenté	10	0,20	0,00	0,30	0,00
12	Revêtement souple	11	0,10	0,00	0,00	0,00

	Nom	Type	Coefficient de rafraîchissement urbain	Coefficient de biotope par surface (CBS)	Perméabilité des sols aux eaux pluviales	Surface de canopée et d'ombrage en été
1	Arbres plantés	0	1,00	0,01	0,80	onglet Données par essence
2	Arbres existants conservés	1	2,00	0,01	0,80	onglet Données par essence
3	Végétal sur dalle (épaisseur plus de 20cm)	2	0,40	0,30	0,60	0,00
4	Végétal sur dalle (épaisseur plus de 80cm)	3	0,40	0,50	0,60	0,00
5	Pleine terre végétalisée strate herbacée	4	0,40	1,00	0,70	0,00
6	Pleine terre végétalisée strate buissonnante	5	0,70	1,00	0,80	0,00

Figure 17 : Tableau des indicateurs et valeur pour chaque typologie de surface

Les indicateurs choisis sont : le coefficient de Biotope (CBS), le coefficient de rafraîchissement urbain, la perméabilité des sols aux eaux pluviales et la surface de canopée et d'ombrage en été.

Le CBS est le rapport entre la surface éco aménageable et la surface totale de l'espace libre.

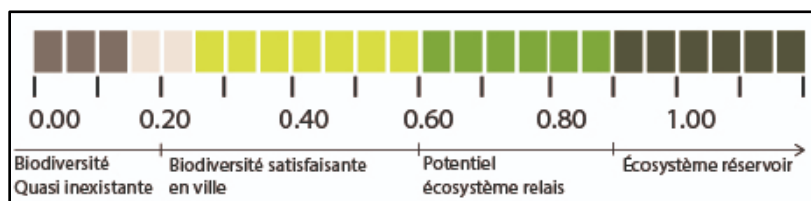


Figure 18 : Sémiologie du CBS

Le rafraîchissement urbain peut être traduit l'aptitude du site à renvoyer le rayonnement solaire plutôt que de capter sous forme de chaleur.

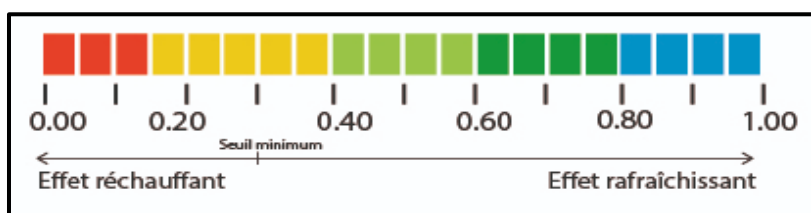


Figure 19 : Sémiologie du rafraîchissement urbain

La perméabilité est la capacité du site à retenir l'eau de pluie.

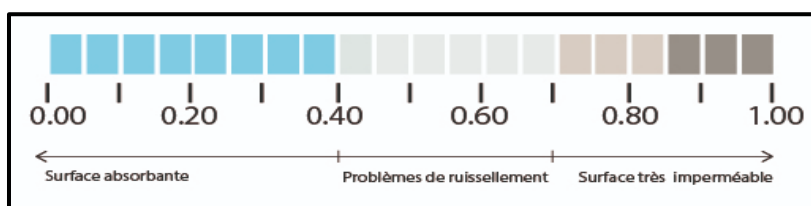


Figure 20 : Sémiologie de la perméabilité

b) Cartographie des indicateurs par typologie de surface

Dans cette partie, on cartographie pour chacun des éléments (typologie de surface) d'une école selon sa valeur pour l'indicateur donné. Ensuite, on calcule la valeur réelle de l'indicateur par rapport à la surface réelle de l'école pour comparer les écoles en fonction des indicateurs. Ensuite toutes les données seront exportées en fichier Excell qu'on utilisera pour l'outil Excell.

Exemples de cartographies des indicateurs par typologie de surface de l'école élémentaire Maurice d'Ocagne :

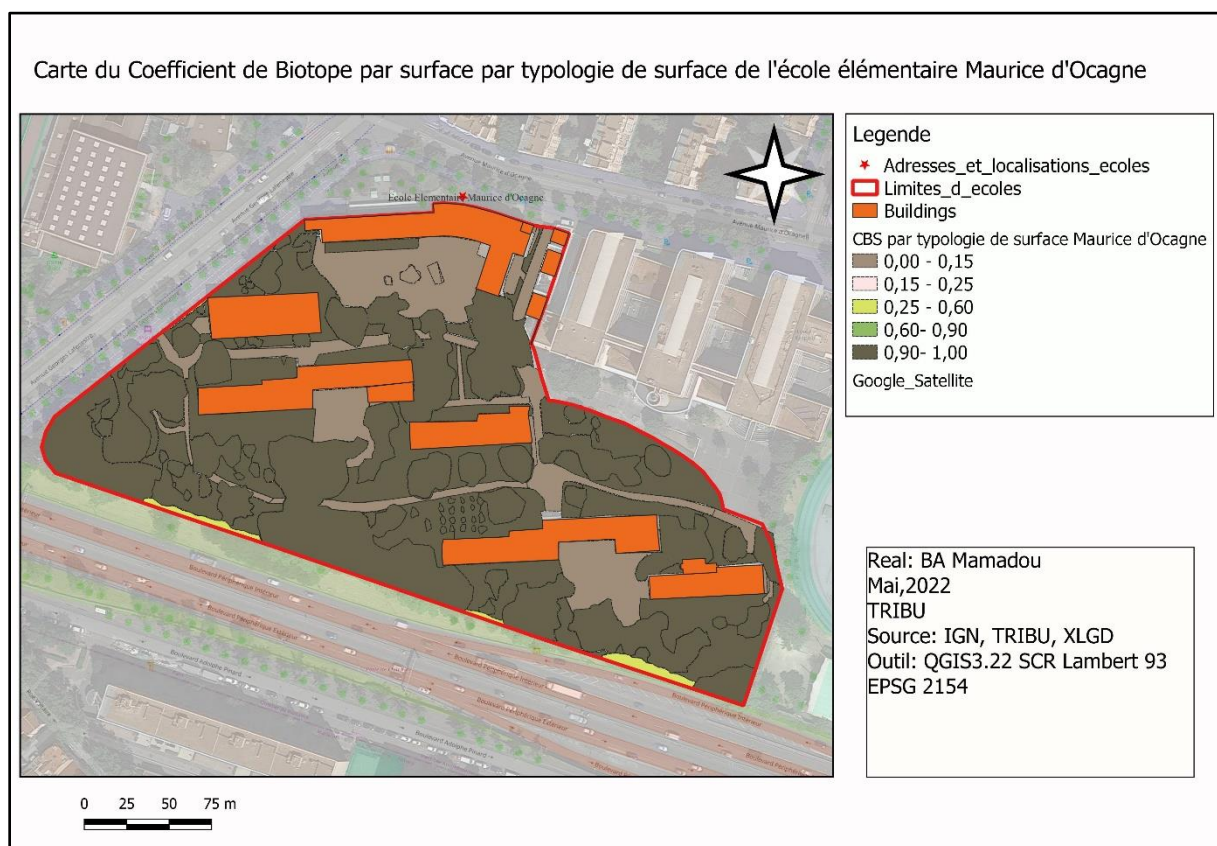


Figure 21 : Carte du Coefficient de Biotope par Surface de Maurice d'Ocagne

Carte de la permeabilite par typologie de surface de l'école élémentaire Maurice d'Ocagne



Figure 22: Carte de la Perméabilité par typologie de surface de l'école Maurice d'Ocagne

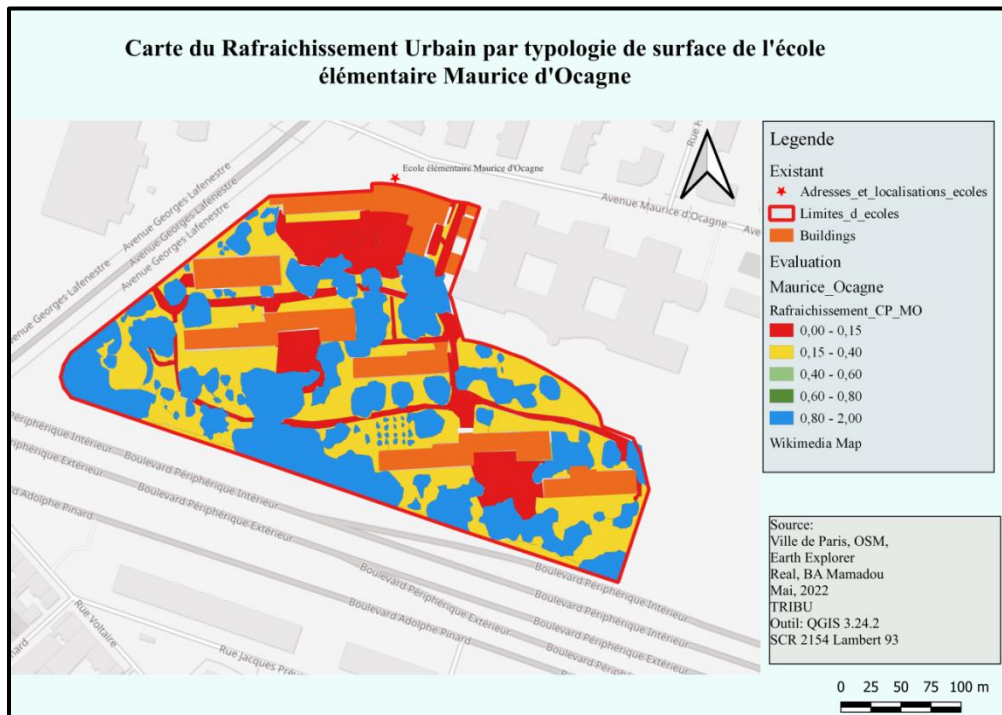


Figure 23: Carte du Rafrachissement urbain par typologie de surface de l'école Maurice d'Ocagne

c) Cartographie de la canopée d'arbres

Sur la base de données de la ville de Paris on a les informations sur le stade d'évolution, sur la circonférence et la hauteur pour certains arbres, mais la base de données n'était pas exhaustive car on n'avait pas d'informations pour certains arbres. Entre autres on avait besoin les données sur la surface de la canopée qui n'existent pas sur la base de données de la ville de Paris. Grâce à une programmation sur VBA (Visual Basic pour Applications) sur Excell on arrive à calculer la surface de canopée selon le stade de d'évolution de l'arbre en tenant compte de la vitesse de croissance de l'espèce. Ceci va nous permettre de calculer les stades d'évolution de la canopée par espèce selon les différents intervalles choisies.

D'abord il y'a l'existant qui constitue T0, ensuite dans 10 ans T10, dans 20 ans T20, dans 50ans T50 et enfin dans 100 ans T100.

	A	B	C	D	E	F
1	Espèce	Durée de vie (année)	Canopée à maturité (m²)	Vitesse de croissance	Année	Canopée
2	Acer Campestre (Erable)	100	50	Lente	1	0,6
3					10	6,4
4					20	14,3
5					50	50,0
6					100	50,0
7	Acer platanoides / pseudoplatanus (Erable)	100	176	Rapide	1	4,3
8					10	47,4
9					20	105,3
10					50	176,0
11					100	176,0
12	Aesculus x carnea (Marronnier commun)	100	113	Rapide	1	2,8
13					10	30,4
14					20	67,6
15					50	113,0
16					100	113,0
17	Aesculus hippocastanum (Marronnier rouge)	100	176	Rapide	1	4,3
18					10	47,4
19					20	105,3
20					50	176,0
21					100	176,0
22	Alnus cordata (Aulne)	80	28	Rapide	1	0,7
23					10	7,5
24					20	16,8
25					50	28,0
26					100	28,0
27	Alnus glutinosa				1	0,5
28					10	5,4

Figure 24: L'interface de l'outil Excell pour calculer la surface des canopées des scénarios.

```

ligne = i * 5 + 2

If 1 Then

    croissance = Worksheets("Feuill1").Cells(ligne, 4).Value
    canop = Worksheets("Feuill1").Cells(ligne, 3).Value

    If canop = "Inconnue" Then
        canop = 50
    End If

    If croissance = "Inconnue" Then
        croissance = "Moyenne"
    End If

    esp = Worksheets("Feuill1").Cells(ligne, 2).Value

    Debug.Print ligne & " " & croissance

    For j = 0 To 4

        Worksheets("Feuill1").Cells(ligne + j, 6).Value = Fcanop(canop, esp, croissance, coef, tempo(j))

    Next

End If

Next

End Sub

```

```

Function Fcanop(canopeeMaturite As Variant, dureeDeVie As Variant, croissance As Variant, coef As Variant, x As Variant)

    If croissance = "Rapide" Then
        ageMaturite = 30
    ElseIf croissance = "Lente" Then
        ageMaturite = 50
    Else
        ageMaturite = 40
    End If

    a = canopeeMaturite / (Exp(ageMaturite / coef) - 1)

    age = x Mod (dureeDeVie)

    If age <= ageMaturite Then
        Fcanop = a * (Exp(age / coef) - 1)
    Else
        Fcanop = canopeeMaturite * (1 + 0.1 / (dureeDeVie - ageMaturite) * (age - ageMaturite))
    End If

End Function

Sub extrapolationCanopees()

    Worksheets("Feuill1").Activate

    derniereLigne = Worksheets("Feuill1").Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row

    lignes = (derniereLigne - 1) \ 5

    coef = 50
    tempo = Array(1, 10, 20, 50, 100)

    For i = 0 To lignes

```

Figure 25: Code VBA pour le calcul des scénarios

Après l'étape de calcul des scénarios, on ajoute la feuille Excell sur le projet et de faire la jointure selon l'espèce et son âge afin de faire la cartographie des scénarios pour les arbres de la zone tampon et des cours d'écoles. Cette cartographie permet de voir l'état existant de la surface de canopée des arbres, de voir la continuité écologique au sein des cours et dans la zone tampon.

Voici quelques exemples de la cartographie de la surface de la canopée selon les scenarios dans la cour d'école Maurice d'Ocagne.

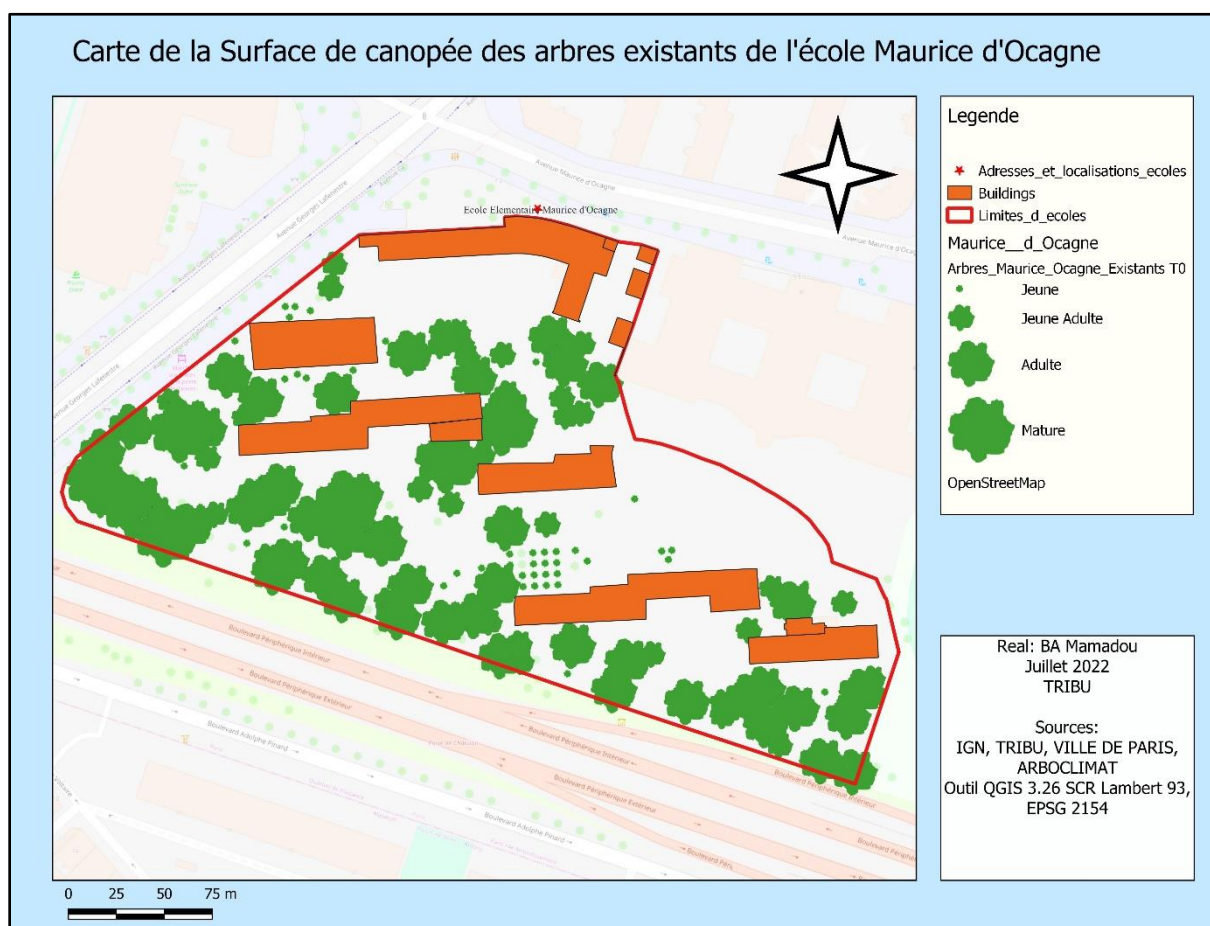


Figure 26: Carte de la surface de canopée des arbres existants de l'école Maurice d'Ocagne

La surface de la canopée des arbres existants de l'école Maurice d'Ocagne montre une école très bien végétalisée malgré la part importante de bitume des deux grandes cours. La végétalisation borde l'axe du boulevard périphérique intérieur. Une école végétale dans sa grande partie mais aussi une végétation faible voire rare dans la partie Est et l'extrême Nord de l'école.



Figure 27: Scenarios de l'évolution de la surface de canopée de l'école Maurice d'Ocagne

Cette carte montre l'évolution de la surface de canopée de l'école Maurice d'Ocagne à partir de l'existant (T0) à T100 (dans 100ans) avec les scenarios intermédiaires T10 (dans 10 ans) T20 (dans 20 ans) T50 (dans 50 ans). Cette école dispose déjà une part importante d'arbres matures qui dans la grande partie ne voient pas leur surface de canopée augmenter. Mais n'empêche qu'une évolution de la surface de canopée est notée avec les autres stades d'évolutions en rendant l'école beaucoup plus végétalisée. Notons que l'évolution la plus importante dans l'ensemble se fait selon le stade d'évolution entre 10 et 20 ans mais ceci aussi dépend aussi des espèces.

Carte de la Surface de canopée des arbres existants de l'école La Saida



Figure 28: Carte de la surface de canopée des arbres existants de l'école La Saida

L'école peut être divisée en deux parties en termes de surface végétalisée : une partie Ouest végétalisée avec la présence d'un jardin et une partie Est faible en termes (voir carte des typologies de surface de l'école La Saida).

Carte des typologies de surface de l'école la Saida

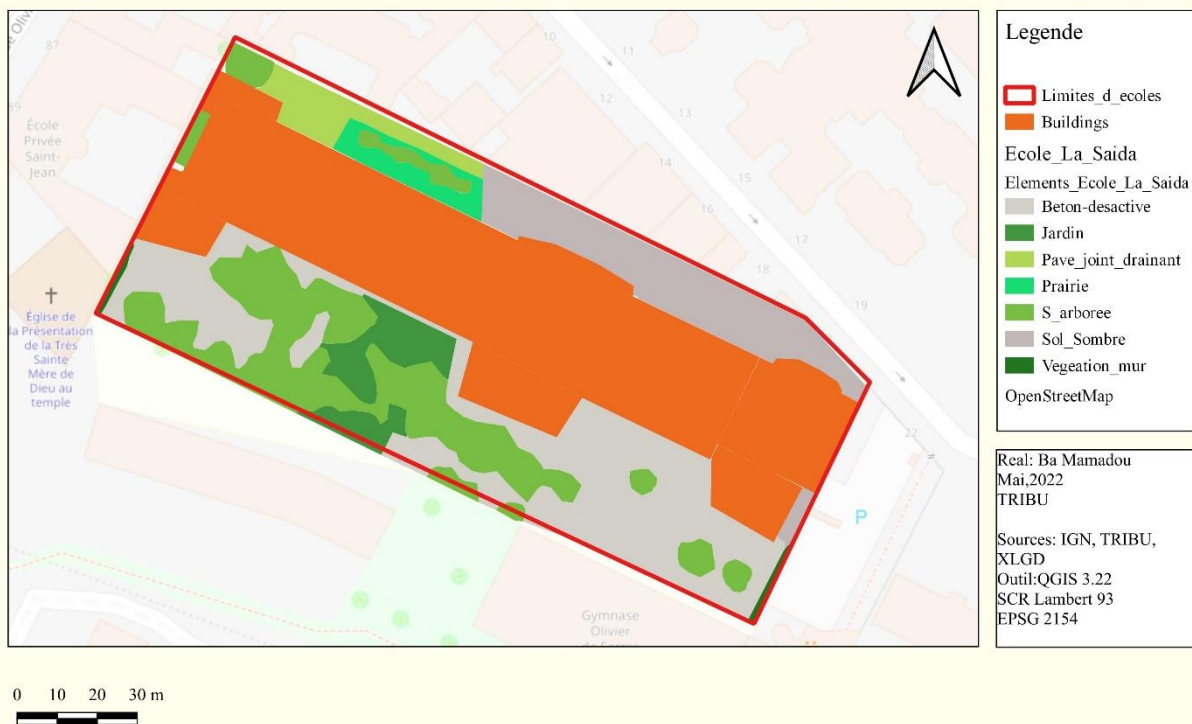


Figure 29: Carte des typologies de surface de l'école La Saida

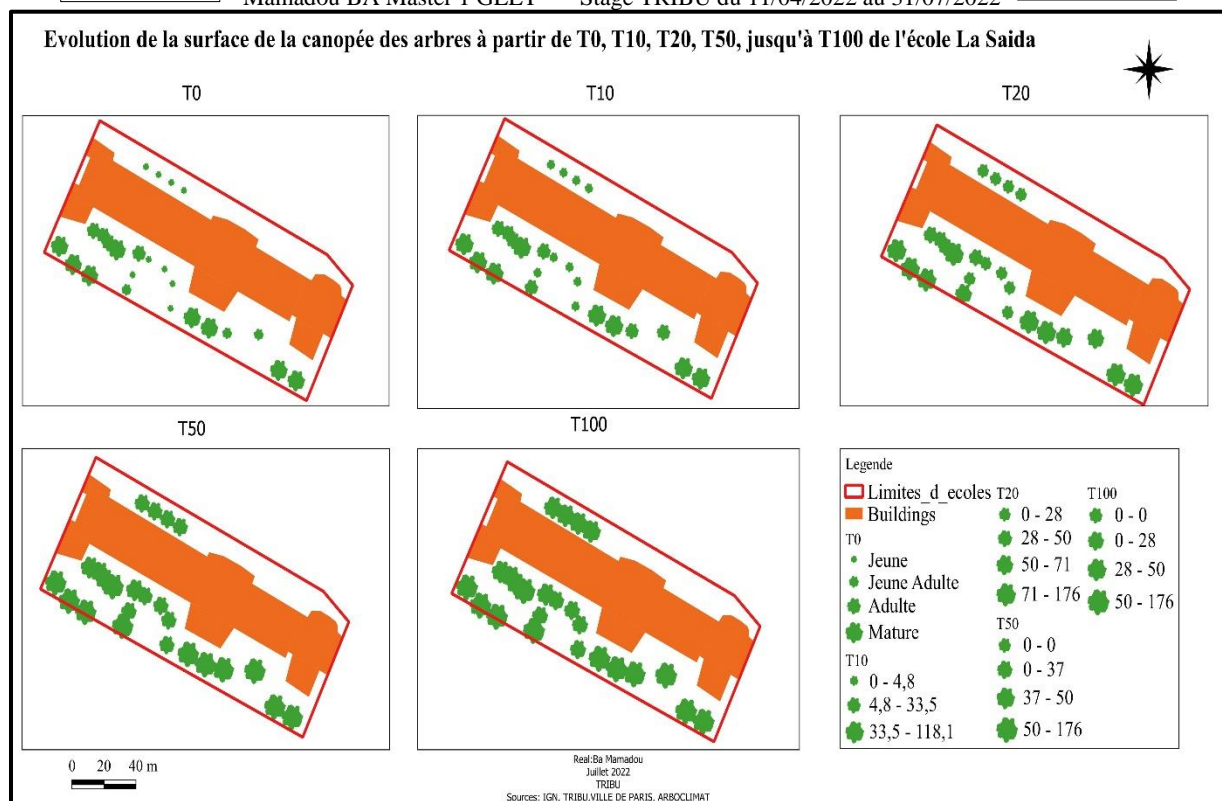


Figure 30: Scénarios d'évolution de la surface de canopée de l'école La Saïda

Ici on a la carte d'évolution de la surface de la canopée des arbres de l'école élémentaire la Saida à partir de l'existant T0 à 100 ans (T100) avec les intervalles temporels de 10 ans (T10), 20 ans (T20) et 50 ans (T50). D'après les scénarios, on voit l'évolution de la surface de canopée par rapport à l'existant des différents arbres.

III) Intégration des versions des architectes et cartographie interactive

a) Intégration des versions écosystémiques des architectes

Cette partie constitue à intégrer les versions écosystémiques des architectes issu d'AutoCad.

Les architectes ont modélisé deux versions : une version existante et une version écosystémique des cours d'écoles. L'opération consiste à intégrer les scénarios écosystémiques sur l'interface Qgis. Pour cela on ajoute les DWG sur Qgis et on redessine dessus pour avoir une couche normale avec une bonne table attributaire car sur les dessins des architectes on avait deux soucis : eux ils n'arrivaient pas à géo-référencier leur DWG ou DXF (selon le format reçu) et leurs dessins ne comportaient pas une bonne description des couches et on a aussi un problème d'échelle sur leurs dessins. De notre côté, quand on change la projection, les couches ne superposaient pas bien, mais on pouvait les déplacer. Après les déplacer, on passe par redessiner la version (Groupe dénommé scénario dans l'interface QGIS). L'idée de redessiner dessus permet une visualisation et une symbologie plus claire par rapport aux DWG ou DXF et ces derniers compilaient en une couche le schéma.

Exemple d'un schéma DWG ajouté sur QGIS à l'état brut (reçu direct des dessins des architectes) du collège Georges Brassens.

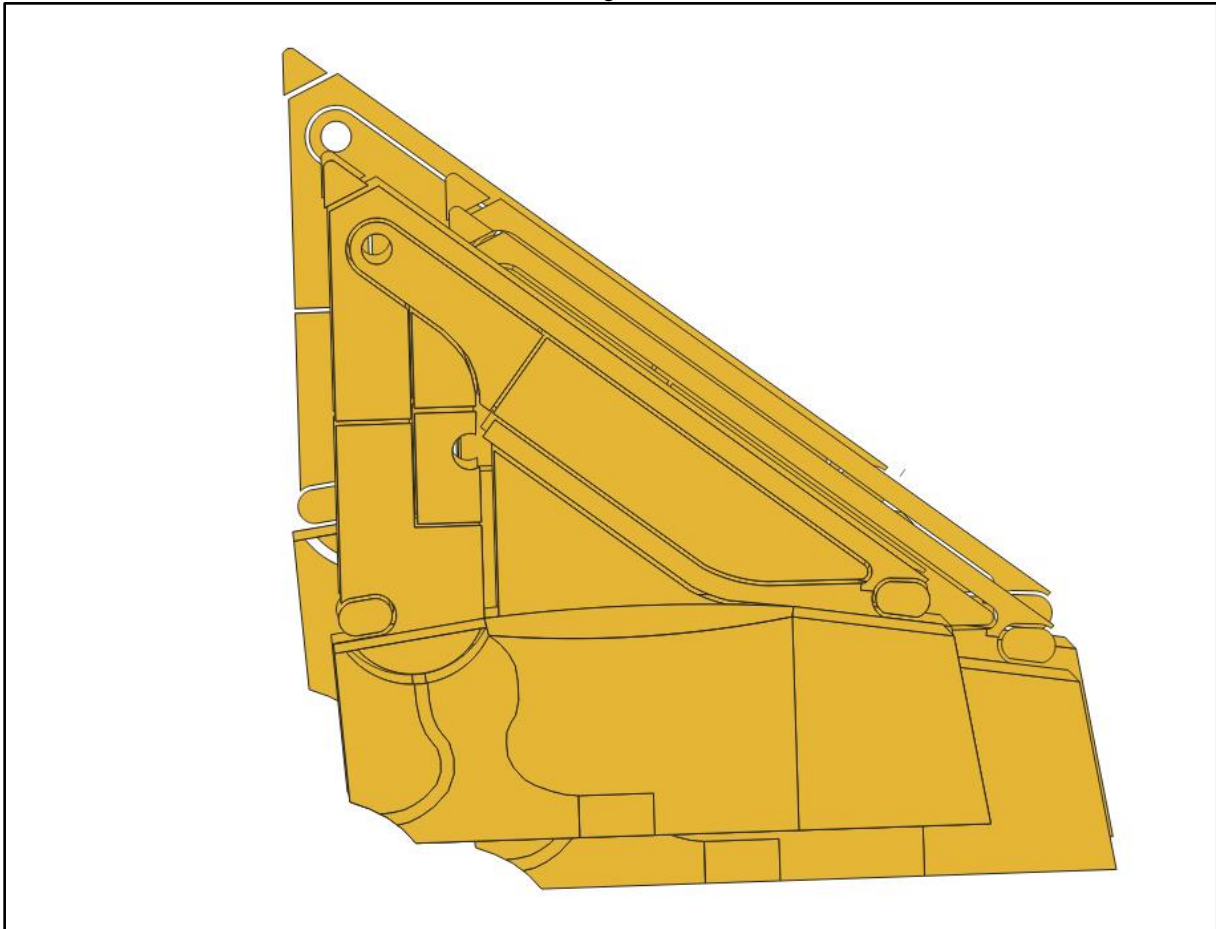


Figure 31: schéma DWG de la version écosystémique du collège Georges Brassens sur QGIS

On voit qu'au lieu d'avoir une couche avec différents enregistrements et champs, on a différentes couches et si on sélectionne pour supprimer une, toutes les couches disparaissent. On a essayé les deux méthodes d'ajout en ajoutant l'extension « AnotherDXFImporter » mais aussi « Importer/Exporter » au niveau de Projet dans l'interface Qgis et on trouve le même résultat pratiquement sauf avec « anotherDXFImporter » on arrivait à avoir la surface de la canopée des arbres ce qui nous permet de les modéliser pendant qu'on redessine les schémas des versions écosystémiques ce qu'on pouvait avoir si on passe par projet, importer/Exporter.

Exemples de la version écosystémique du collège Georges Brassens et de l'école élémentaire les Récollets redessinés en créant de nouvelles couches et se basant sur les dessins des architectes.

Version écosystémique du Collège Georges Brassens

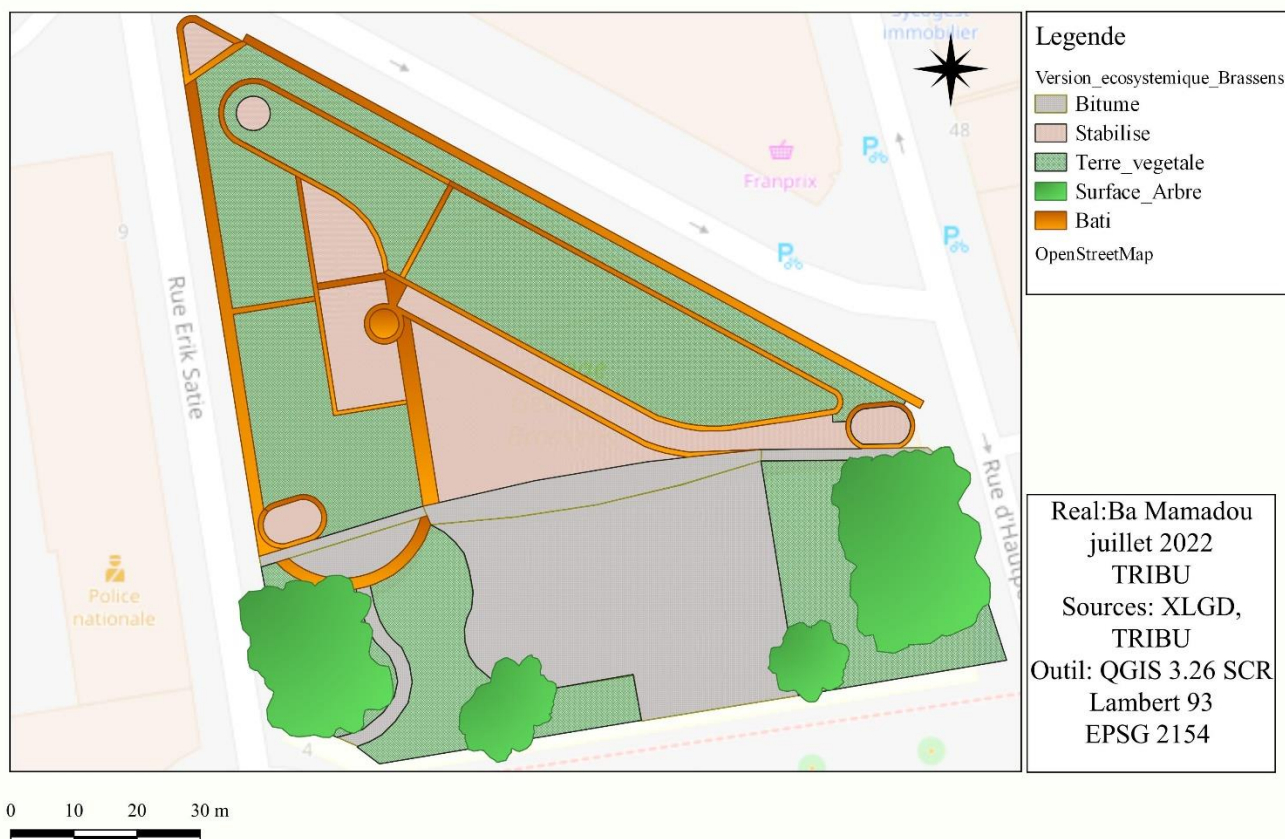


Figure 32: Version écosystémique Georges Brassens

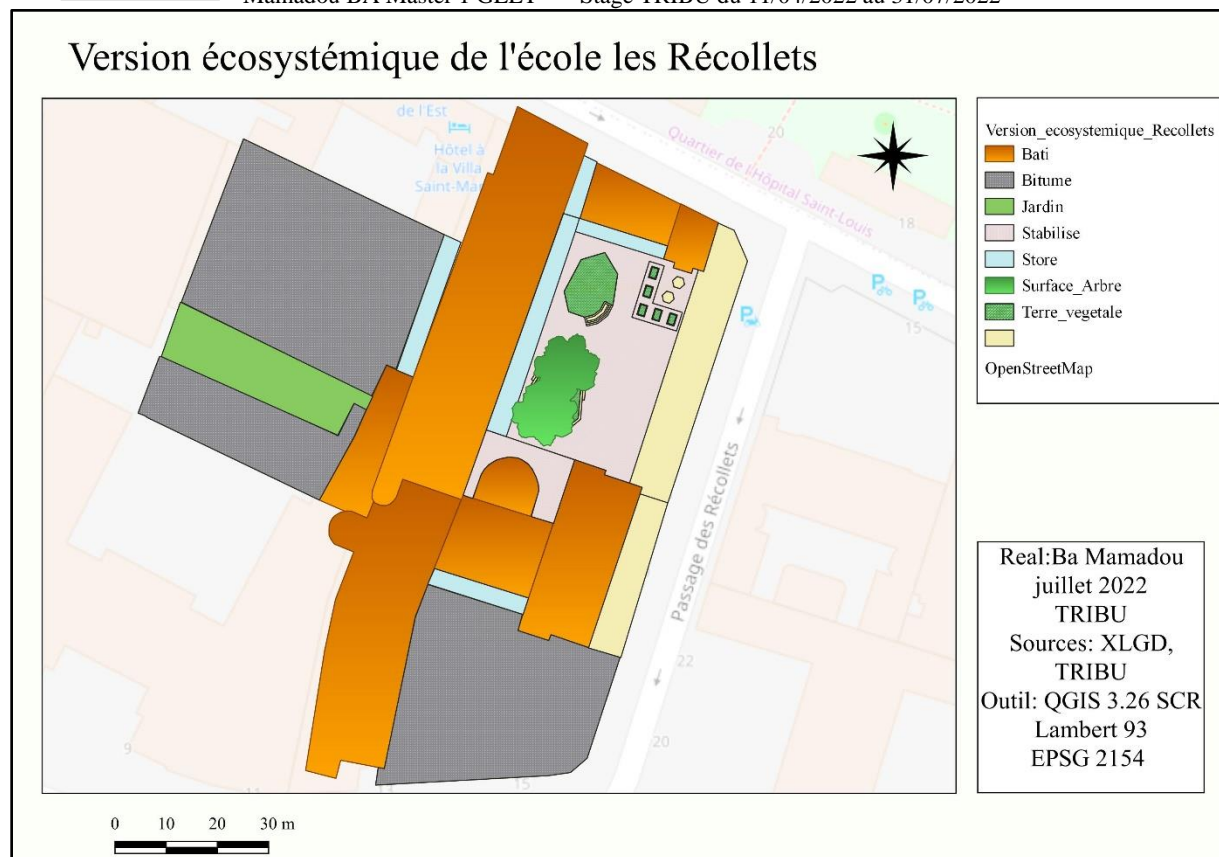


Figure 33: Version écosystémique Les Récollets

b) Cartographie interactive avec Lizmap

Après la réalisation de l'interface Qgis composée de cinq grands groupes :

- L'existant
- L'évaluation
- Scénario
- Echelle de la Zone Tampon de 500m
- Echelle de Paris/ ile de France,

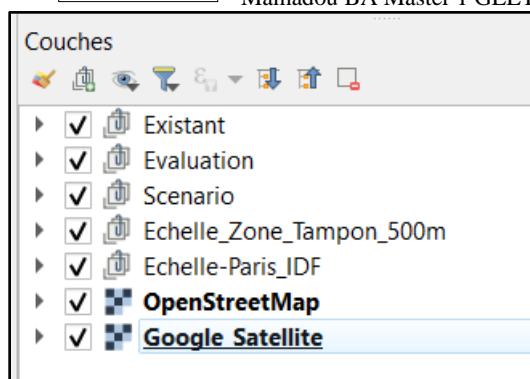
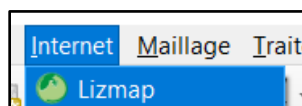


Figure 34: Les Groupes de l'interface du Projet QGIS

J'ai ajouté aussi OSM Standard et Google Satellite comme des couches de fond, on a développé une cartographie interactive du projet QGIS avec le plugin Lizmap et QGIS server.

D'abord on a installé osgeo4w (http://download.osgeo.org/osgeo4w/osgeo4w-setup-x86_64.exe) avec les packages nécessaires, Apache 24, PHP version 7.3.9 et Lizmap client version 3.4 puis on passe à la configuration d'Apache 2.4.41, de PHP 7.3.9 en suivant la documentation 3Liz (<https://docs.lizmap.com/3.4/fr/install/windows.html>) et enfin la configuration du panneau d'administration Lizmap et les répertoires en modifiant l'identifiant et le mot de passe qui de base est admin et admin. Pour arriver par là on crée un dossier « webservice » sur notre local (C) dans lequel on enregistre tous les fichiers (apache, php, lizmap client web).

On a paramétré le projet aussi niveau de Qgis server et en l'enregistrant d'abord en « .qgs » (le projet doit être enregistré en .qgs et pas .qgz pour utiliser Lizmap) pour pouvoir utiliser l'extension Lizmap qu'on installe à partir de l'onglet extension de QGIS. Après l'installation on peut trouver l'extension dans l'onglet « internet »



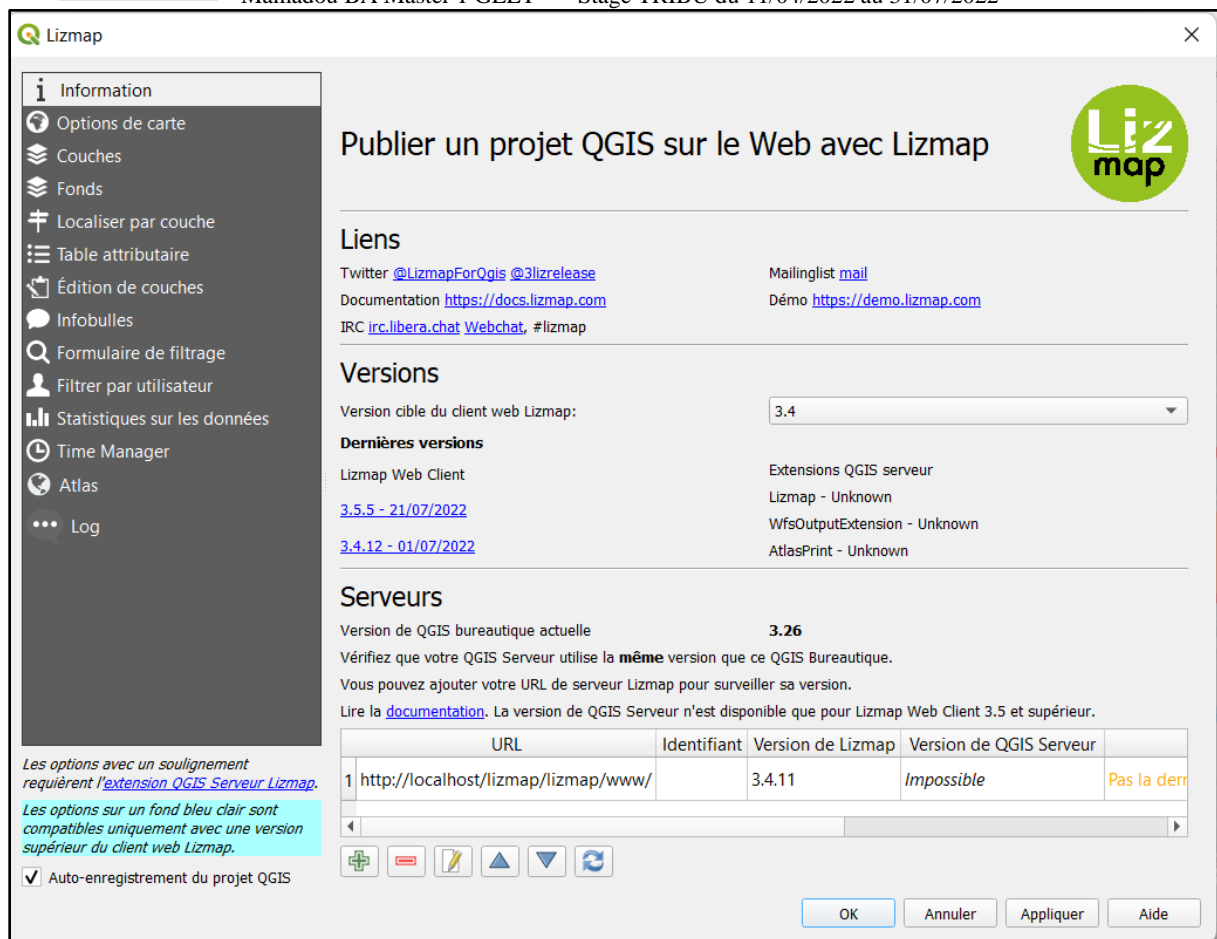


Figure 35: Interface de l'extension Lizmap

Une fois ouvrir l'extension on renseigne l'url pour aller à la page d'administrateur, on règle les options de la carte (échelle, emprise, dessiner, mesurer, zoom, impression), on renseigne les métadonnées au niveau de couches, on choisit des fonds cartes, choisit la couche de localisation, choisit les tables attributaires des couches à ajouter dans la cartographie interactive. Toujours dans les paramétrages du projet lizmap, on peut choisir les couches a éditer, réaliser des diagrammes dans la partie « statistiques sur les données etc. Après on applique puis enregistre le projet. Notons que notre projet Qgis doit être enregistrer sur notre dossier webserver dans le local (C) précisément :

« C:\webserver\www\lizmap\lizmap\install\qgis\Projet_RECRE.qgs ».

Une fois terminer le paramétrage, on va dans notre page lizmap administration et au niveau de gestion des cartes on crée un nouveau répertoire en renseignant l'identifiant, le nom a affiché,

et le chemin d'enregistrement). Notre cartographie se trouvera dans l'onglet « Projet de la page d'administration lizmap.

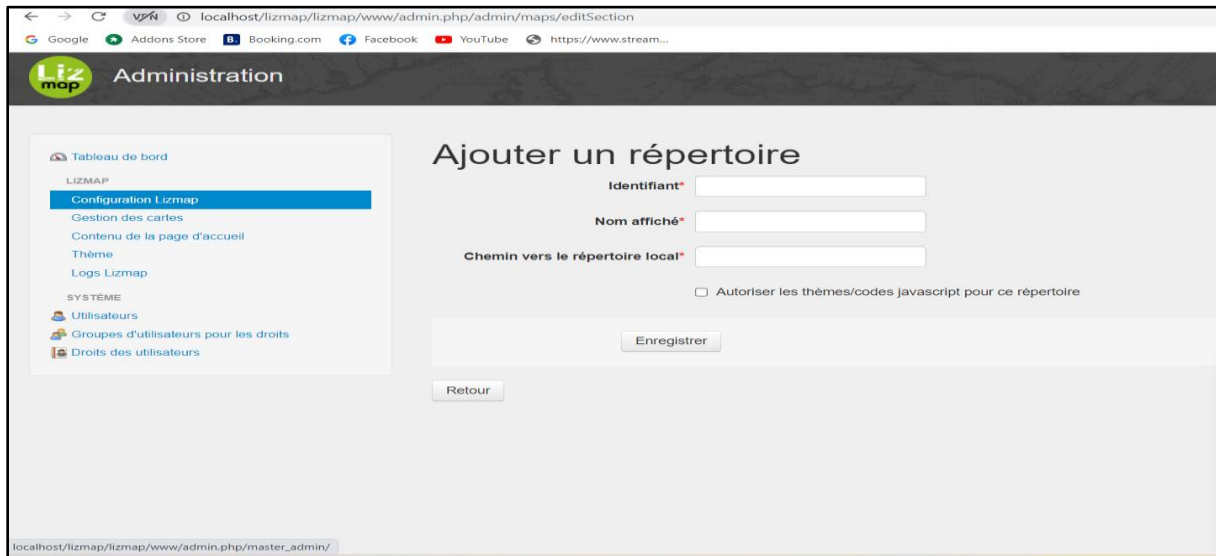


Figure 36: Interface pour créer un répertoire

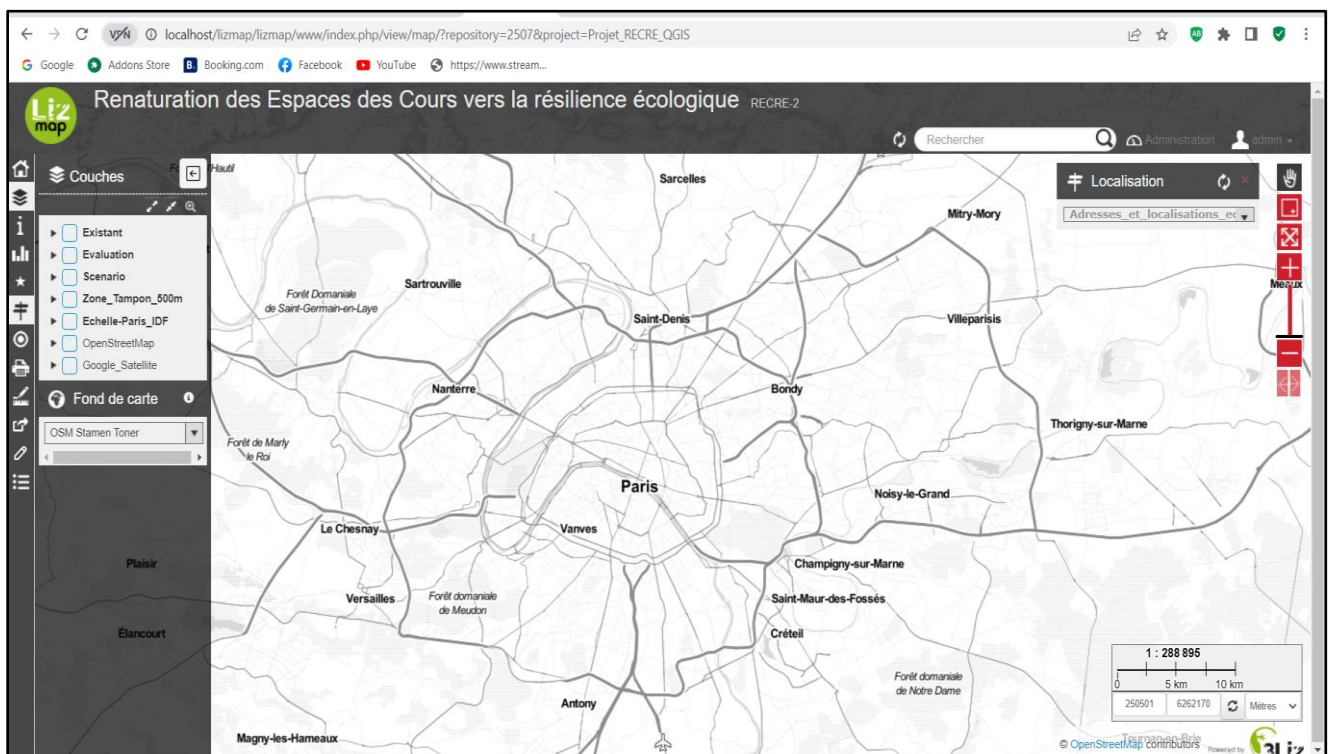


Figure 37: Cartographie interactive avec Lizmap

Ici, on a une capture d'écran du projet Lizmap réalisé à partir QGIS server et Lizmap.

c) Difficultés rencontrées

Mon premier problème rencontré lors de ce stage est la question de l'échelle. De base j'avais l'habitude de travailler à des échelles beaucoup plus grandes que l'école d'une cour d'écoles ce qui m'a posé beaucoup de problèmes dès le début du stage. Mais après beaucoup de points d'échange avec mon maître de stage on a pu trouver des solutions pour faire la cartographie des indicateurs. Autre difficulté était aussi la cartographie de la canopée sans pour autant passer par la télédétection car pour le projet on voulait la taille de canopée de chaque arbre selon son âge, espèce et genre or, une classification issue par le traitement des images satellitaires ne pourra pas nous renseigner sur l'espèce, le genre et le nom de l'arbre.

La difficulté majeure que j'ai eu lors de ce stage est le problème de l'installation de Lizmap client web sur les machines de l'entreprise au final j'ai été obligé de l'installer sur ma propre machine afin de faire la cartographie interactive car leur serveur est sous hébergement et on n'a pas les éléments nécessaires pour installer lizmap dans le serveur et à chaque instant on avait comme résultat : service non disponible.

Conclusion

En somme, on peut dire que ce stage a été pour moi une expérience très intéressante et enrichissante. J'ai pu réaliser des missions et tâches variées avec une collaboration et un encadrement de mon maître de stage. D'autre part, la participation aux différentes réunions sur le projet RECRE et d'autres projet aux projets au sein de l'entreprise était pour moi une occasion de connaître plus amplement le fonctionnement du monde professionnel mais aussi la collaboration avec différents employés de la structure m'a permis davantage de savoir l'intérêt et la plus-value de travailleur en équipe.

Ce stage m'a permis également d'avoir de nouvelle connaissance sur les services écosystémiques, de pousser mes recherches dans la sphère de la géomatique. Pour terminer, concernant les savoirs être, j'ai appris à respecter des échéances, développer la capacité à travailler en équipe et l'organisation dans mon travail.

J'ai réalisé **un manuel d'utilisation** de l'ensemble des manipulations et tâches réalisés en guise d'aide.

Bibliographie et webographie

NB : une bonne partie de la documentation et des données est issue de la base de données de l'entreprise notamment (Tributhèque, SIGthèque et les rapports intermédiaires réalisés dans le projet), ce sont des données internes.

<https://docs.lizmap.com/3.4/fr/install/windows.html>

<https://elieth.com/ice-la-solution-pour-etudier-le-rafraichissement-de-vos-quartiers/>

<https://geoservices.ign.fr/documentation/donnees/vecteur/bdtopo>

<https://github.com/3liz/lizmap-web-client>

https://github.com/NaturalGIS/qgis_server_and_lizmap_on_windows

<https://httpd.apache.org/download.cgi>

<https://opendata.paris.fr/pages/home/>

<https://plugins.qgis.org/plugins/ICEtool/>

<https://trac.osgeo.org/osgeo4w/>

<http://www.arbre-en-ville.fr/arbre-en-ville/>

<https://www.php.net/downloads.php>

<https://www.tribu-concevoirdurable.fr/>

<https://www.xlgd.fr/>